

TANGRIANI SIMIONI ASSMANN

**INFLUÊNCIA DA APLICAÇÃO DO CALCÁRIO IRATI (São Mateus do Sul - PR)
NOS TEORES DE S, Cu, Fe, Mn e Zn NO SOLO E NA PLANTA DE MILHO
(*Zea mays L.*).**

Dissertação apresentada ao Curso de Pós-Graduação em Agronomia, Área de Concentração Ciência do Solo do Setor de Ciências Agrárias da Universidade Federal do Paraná, como requisito parcial à obtenção do grau de Mestre.

**CURITIBA
1995**

TANGRIANI SIMIONI ASSMANN

**INFLUÊNCIA DA APLICAÇÃO DO CALCÁRIO IRATI (São Mateus do Sul - PR)
NOS TEORES DE S, Cu, Fe, Mn e Zn NO SOLO E NA PLANTA DE MILHO
(*Zea mays L.*).**

Dissertação apresentada ao Curso de Pós-Graduação
em Agronomia, Área de Concentração Ciência do Solo
do Setor de Ciências Agrárias da Universidade Federal
do Paraná, como requisito parcial à obtenção do grau
de Mestre.

Orientador: Prof.Dr. Beatriz M. S. Prevedello
Co-orientador: Prof. Dr. Carlos Bruno Reissmann.
Prof. MSc. Amir Pissaia

CURITIBA
1995

**MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO
UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ
SETOR DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS
CURSO DE PÓS-GRADUAÇÃO EM AGRONOMIA
ÁREA DE CONCENTRAÇÃO CIÊNCIA DO SOLO
"MESTRADO"**

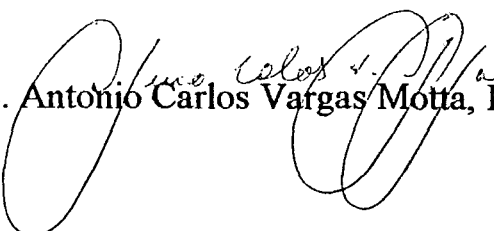
P A R E C E R

Os Membros da Comissão Examinadora, designados pelo Colegiado do Curso de Pós-Graduação em Agronomia-Área de Concentração "Ciência do Solo", para realizar a arguição da Dissertação de Mestrado, apresentada pela candidata **TANGRIANI SIMIONI ASSMANN**, com o título: "**Influência da aplicação do calário Irati (São Mateus do Sul-PR) nos teores de S, Cu, Fe, Mn e Zn do solo e da planta de milho (Zea mays L)**", para obtenção do grau de Mestre em Agronomia-Área de Concentração "Ciência do Solo" do Setor de Ciências Agrárias da Universidade Federal do Paraná, após haver analisado o referido trabalho e arguido a candidata, são de Parecer pela "**APROVAÇÃO**" da Dissertação com o conceito "**A**" completando assim, os requisitos necessários para receber o diploma de **Mestre em Agronomia-Área de Concentração "Ciência do Solo"**.

Secretaria do Curso de Pós-Graduação em Agronomia-Área de Concentração "Ciência do Solo", em Curitiba 14 de julho de 1995.


Prof. Dra. Beatriz Monte Serrat Prevedello, Presidente.


Prof. Ph.D. Paulo Roberto Ernani, Iº Examinador.


Prof. M.Sc. Antonio Carlos Vargas Motta, IIº Examinador.

*Ao meu pai Benito e minha mãe Ilzi, que
muitas vezes com sacrifício, contribuíram para
minha formação profissional;*

Ao meu esposo Alceu e para meu filho Lucas;

Dedico.

AGRADECIMENTOS

À professora Beatriz Monte Serrat Prevedello, pela orientação, amizade e incentivo.

Ao professor Carlos Bruno Reissmann, pela co-orientação e amizade.

Ao professor Antonio Carlos Vargas Motta, pela amizade e dedicação.

Ao professor Amir Pissaia pelo apoio e orientação na instalação e condução do experimento.

Ao professor Paulo Justiniano Ribeiro Junior, pela colaboração segura e objetiva na avaliação estatística.

Aos professores do Curso de Pós-Graduação em Agronomia, Área de Concentração e Ciência do Solo, do Setor de Ciências Agrárias da Universidade Federal do Paraná pelos ensinamentos ministrados e amizade.

A todos os funcionários do Departamento de Solos pela colaboração na realização das análises.

A todos meus familiares, pelo apoio, compreensão e confiança depositada.

Aos colegas da Pós-Graduação pelo apoio dado durante este período.

Aos amigos da Secretaria Municipal do Meio Ambiente de Curitiba e do Curso de Agronomia do CEFET (Centro Federal de Educação Tecnológica), Unidade Descentralizada de Pato Branco, que sempre contribuíram com palavras de estímulo.

A todos meus amigos que de uma forma direta ou indireta, auxiliaram na execução desta obra.

BIOGRAFIA

Tangriani Simioni Assmann, filha de Benito Simione e Ilzi Massolin Simioni, nasceu em Curitiba - PR, aos três dias de julho de 1967.

Em março de 1990, colou grau de Engenheiro Agrônomo na Universidade Federal do Paraná.

Em março de 1991 iniciou o curso de Mestrado em Agronomia, área de Concentração em Ciência do Solo, pela Universidade Federal do Paraná.

Entre julho de 1992 a fevereiro de 1994, atuou como Engenheira Agrônoma, no Departamento de Pesquisa e Monitoramento Ambiental da Secretaria Municipal do Meio Ambiente de Curitiba.

Desde fevereiro de 1994 até a presente data é professora da disciplina de Fertilidade do Solo, no Curso de Agronomia do Centro Federal de Educação Tecnológica (CEFET) em Pato Branco-PR.

SUMÁRIO

	LISTA DE FIGURAS.....	vi
	LISTA DE TABELAS.....	viii
	RESUMO.....	ix
	ABSTRACT.....	x
1	INTRODUÇÃO.....	01
2	REVISÃO DE LITERATURA.....	04
2.1	MATERIAIS CORRETIVOS	04
2.1.1	Materiais corretivos utilizados para calagem	04
2.1.2	Enxofre, cobre, ferro, manganês e zinco na composição dos materiais corretivos.....	05
2.2	MATERIAIS CORRETIVOS NO SOLO	07
2.2.1	Efeitos sobre características físicas, químicas e biológicas do solo	07
2.2.2	Avaliação da disponibilidade de enxofre, cobre, ferro, manganês e zinco no solo.....	09
2.2.3	Níveis críticos de enxofre, cobre, ferro, manganês e zinco no solo.....	13
2.2.4	Influência da calagem sobre os teores de enxofre, cobre, ferro, manganês e zinco no solo.....	14
2.3	CALAGEM, ENXOFRE, COBRE, FERRO, MANGANÊS E ZINCO NAS PLANTAS	17
2.3.1	Resposta das culturas anuais à aplicação de calagem	17
2.3.2	Níveis críticos de nitrogênio, enxofre, cobre, ferro, manganês e zinco na planta	19
2.3.3	Efeito da calagem sobre a concentração de enxofre, cobre, ferro, manganês, zinco da planta	25

3	MATERIAL E MÉTODOS.....	29
3.1	DESCRIÇÃO DO SOLO UTILIZADO	29
3.2	DESCRIÇÃO DOS EXPERIMENTOS	30
3.2.1	Experimento em frascos, monitoramento do sulfato no solo.....	31
3.2.2	Experimento em vasos, cultivo de plantas de milho	31
3.3	METODOLOGIA DE ANÁLISE.....	33
3.3.1	Metodologia de análise de solo.....	33
3.3.2	Metodologia de análise de plantas.....	34
3.3.3	Metodologia de análise estatística	35
4	RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	37
4.1	SULFATO, pH, COBRE, FERRO, MANGANÊS E ZINCO NO SOLO.....	37
4.1.1	Sulfato no solo.....	37
4.1.2	pH do solo	42
4.1.3	Efeito dos corretivos sobre os teores de cobre, ferro, manganês e zinco no solo extraído com DTPA-TEA	43
4.2	RESPOSTA DA PLANTA EM RELAÇÃO À APLICAÇÃO DE DOSES CRESCENTES DOS MATERIAIS CORRETIVOS	48
4.2.1	Produção de massa seca, massa verde e diâmetro do colmo da planta de milho.....	48
4.2.2	Teores de enxofre, cobre, ferro, manganês e zinco da planta de milho	53
4.2.2.1	Teor de enxofre total na planta de milho.....	53
4.2.2.2	Teor de cobre na planta de milho	57
4.2.2.3	Teor de ferro na planta de milho.....	59
4.2.2.4	Teor de manganês na planta de milho.....	62

4.2.2.5	Teor de zinco na planta de milho.....	64
5	CONCLUSÃO.....	68
	ANEXO ESTATÍSTICAS	69
	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	78

LISTA DE FIGURAS

01	TEORES MÉDIOS DE SULFATO NO SOLO QUE RECEBEU COMO TRATAMENTO DOSES CRESCENTES DE CALCÁRIO COMERCIAL E CALCÁRIO IRATI, EM t/ha DE EQUIVALENTES DE CaCO_3 , PARA OS DIAS 01, 05, 15, 60, 90 E 280 DE INCUBAÇÃO.....	39
02	TEORES MÉDIOS DE SULFATO NO SOLO QUE RECEBEU COMO TRATAMENTO DOSES CRESCENTES DE CALCÁRIO COMERCIAL E CALCÁRIO IRATI EM t/ha DE EQUIVALENTES DE CaCO_3 , APÓS O SEGUNDO CULTIVO DE MILHO	41
03	POTENCIAL HIDROGÊNIO IÔNICO MÉDIO DO SOLO QUE RECEBEU COMO TRATAMENTO DOSES CRESCENTES DE CALCÁRIO COMERCIAL E CALCÁRIO IRATI EM t/ha DE EQUIVALENTES DE CaCO_3 , APÓS O SEGUNDO CULTIVO DE MILHO	43
04	EFEITO DE DOSES CRESCENTES DE CALAGEM, SOBRE OS TEORES DE FERRO EM $\mu\text{g/g}$ NO SOLO EXTRAÍDO COM DTPA-TEA, MÉDIA DE OITO REPETIÇÕES	45
05	EFEITO DE DOSES CRESCENTES DE CALAGEM, SOBRE OS TEORES EM $\mu\text{g/g}$, DE MANGANÊS NO SOLO EXTRAÍDO COM DTPA-TEA, MÉDIA DE OITO REPETIÇÕES	47
06	EFEITO DE DOSES CRESCENTES DE CALCÁRIO COMERCIAL E CALCÁRIO IRATI, SOBRE A PRODUÇÃO DE MASSA SECA EM GRAMAS DE PLANTA DE MILHO, MÉDIA DE QUATRO REPETIÇÕES CADA UMA DE TRÊS PLANTAS	49
07	EFEITO DE DOSES CRESCENTES DE CALCÁRIO COMERCIAL E CALCÁRIO IRATI, SOBRE PRODUÇÃO DE MASSA VERDE EM GRAMAS DA PLANTA DE MILHO, MÉDIA DE QUATRO REPETIÇÕES CADA UMA DE TRÊS PLANTAS.....	51
08	EFEITO DE DOSES CRESCENTES DE CALCÁRIO COMERCIAL E CALCÁRIO IRATI, SOBRE DIÂMETRO DO COLMO DA PLANTA DE MILHO EM CENTÍMETROS, MÉDIA DE QUATRO REPETIÇÕES CADA UMA DE TRÊS PLANTAS.....	52
09	EFEITO DE DOSES CRESCENTES DE CALCÁRIO COMERCIAL E CALCÁRIO IRATI, SOBRE O TEOR DE ENXOFRE EM $\mu\text{g/g}$, NA PLANTA DE MILHO, MÉDIA DE QUATRO REPETIÇÕES	54
10	EFEITO DE DOSES CRESCENTES DE CALCÁRIO, SOBRE O TEOR DE NITROGÊNIO EM PORCENTAGEM, NA PLANTA DE MILHO, MÉDIA DE QUATRO REPETIÇÕES	57
11	EFEITO DE DOSES CRESCENTES DE CALCÁRIO COMERCIAL E CALCÁRIO IRATI, SOBRE O TEOR DE COBRE EM $\mu\text{g/g}$, NA PLANTA DE MILHO, MÉDIA DE QUATRO REPETIÇÕES	58
12	EFEITO DE DOSES CRESCENTES DE CALCÁRIO, SOBRE O TEOR DE FERRO EM $\mu\text{g/g}$, NA PLANTA DE MILHO, MÉDIA DE OITO REPETIÇÕES.....	60

13	EFEITO DE DOSES CRESCENTES DE CALCÁRIO COMERCIAL E CALCÁRIO IRATI, SOBRE A RELAÇÃO Fe/Mn NA PLANTA DE MILHO, MÉDIA DE QUATRO REPETIÇÕES	62
14	EFEITO DE DOSES CRESCENTES DE CALCÁRIO COMERCIAL E CALCÁRIO IRATI, SOBRE O TEOR DE MANGANÊS EM $\mu\text{g/g}$, NA PLANTA DE MILHO, MÉDIA DE QUATRO REPETIÇÕES	63
15	EFEITO DE DOSES CRESCENTES DE CALCÁRIO COMERCIAL E CALCÁRIO IRATI, SOBRE O TEOR DE ZINCO EM $\mu\text{g/g}$, NA PLANTA DE MILHO, MÉDIA DE QUATRO REPETIÇÕES.....	64
16	EFEITO DE DOSES CRESCENTES DE CALCÁRIO COMERCIAL E CALCÁRIO IRATI, SOBRE A RELAÇÃO Fe/Zn NA PLANTA DE MILHO, MÉDIA DE QUATRO REPETIÇÕES	66

LISTA DE TABELAS

01	VARIAÇÃO DOS TEORES EM $\mu\text{g/g}$ DE ENXOFRE, COBRE, FERRO, MANGANÊS E ZINCO EM MATERIAIS CORRETIVOS, PROVENIENTES DO BRASIL, ESTADOS UNIDOS DA AMÉRICA E INGLATERRA	06
02	CARACTERÍSTICAS QUÍMICAS DO SOLO UTILIZADO	29
03	CARACTERÍSTICA TEXTURAL DO SOLO UTILIZADO(%)	29
04	QUANTIDADE DE CORRETIVO UTILIZADA EM GRAMAS NOS FRASCOS (500 g) E NOS VASOS (6.500 g) PARA PROCEDER A EQUIVALÊNCIA DOS CORRETIVOS EM TONELADAS POR HECTARE DE CaCO_3	31
05	CARACTERÍSTICAS QUÍMICAS (MICRONUTRIENTES E SULFATO) EM $\mu\text{g/g}$ DE SOLO POSTERIORES, AO PRIMEIRO PLANTIO DE MILHO	32
06	ADUBAÇÃO DE BASE EM $\mu\text{g/g}$ EFETUADA PARA O PLANTIO DE MILHO	33
07	VALORES DE SULFATO E pH DO SOLO QUE RECEBEU COMO TRATAMENTO DOSES CRESCENTES DE CALCÁRIO COMERCIAL E CALCÁRIO IRATI AMOSTRADO APÓS O SEGUNDO CULTIVO DE MILHO. MÉDIA DE QUATRO REPETIÇÕES.	42
08	VALORES MÉDIOS DE MASSA SECA (g), MASSA VERDE (g) E DIÂMETRO DO COLMO (cm) DE PLANTAS DE MILHO CULTIVADAS NO SOLO QUE RECEBEU COMO TRATAMENTO DOSES CRESCENTES DE CALCÁRIO COMERCIAL E CALCÁRIO IRATI AMOSTRADO APÓS O SEGUNDO CULTIVO DE MILHO. MÉDIA DE QUATRO REPETIÇÕES.....	50
09	VALORES MÉDIOS DE ENXOFRE TOTAL, COBRE, MANGANÊS, ZINCO E RELAÇÃO Fe/Mn DAS PLANTAS DE MILHO CULTIVADAS NO SOLO QUE RECEBEU COMO TRATAMENTO DOSES CRESCENTES DE CALCÁRIO COMERCIAL E CALCÁRIO IRATI AMOSTRADO APÓS O SEGUNDO CULTIVO DE MILHO. MÉDIA DE QUATRO REPETIÇÕES.....	54

RESUMO

Este trabalho tem o objetivo de comparar a eficiência do calcário formação Irati, sobre o crescimento da planta de milho em relação a um calcário comercial, bem como verificar a contribuição diferenciada de doses crescentes dos dois corretivos quanto aos teores de sulfato, cobre, ferro, manganês e zinco, tanto para o solo como para a planta. Dois experimentos foram conduzidos em casa de vegetação no Setor de Ciências Agrárias da UFPR, tendo como substrato um Cambissolo Tb, A proeminente, textura arenosa, proveniente de uma pastagem nativa localizada no município de Palmeira-PR. O primeiro experimento foi realizado em frascos, contendo 500 g, e o segundo conduzido em vasos. Os experimentos foram realizados independentemente, em delineamento inteiramente casualizado, com quatro repetições. Os tratamentos foram arranjos em ensaio fatorial 2x5, sendo 2 materiais corretivos (calcário comercial e calcário formação Irati) e 5 doses crescentes dos materiais corretivos, em t/ha equivalentes de CaCO_3 (0,00; 0,75; 1,50; 3,00 e 6,00). No experimento em frascos, posteriormente à adição dos materiais corretivos, o solo foi umedecido, e as trocas gasosas foram realizadas através de aberturas diárias. Foram coletadas amostras de solo para determinação de sulfato aos: 1, 5, 15, 60, 90 e 280 dias de incubação. Incrementos de doses do calcário Irati e do tempo de incubação, resultaram em aumentos dos teores de sulfato no solo. No experimento conduzido em vasos, o qual recebeu previamente os tratamentos, foram efetuados dois cultivos consecutivos de milho (Híbrido AG 612). Embora doses crescentes de calcário Irati tenham provocado aumentos nos teores de sulfato no solo, atingindo o valor de 49 $\mu\text{g/g}$, a mais alta dose e doses crescentes do outro material corretivo, pouco alteraram a quantidade do elemento no solo; tais diferenças não refletiram-se sobre o teor de enxofre total das plantas. Da mesma forma, solos corrigidos com calcário Irati, apresentaram teores de cobre, ferro, manganês, extraídos do solo com DTPA-TEA, 5%, 10% e 9%, respectivamente, maiores do que aquele que recebeu calcário comercial, sem tal fato influenciar o conteúdo destes elementos na planta. Por outro lado, aumento de doses de calagem, provocaram decréscimos nos teores de manganês e ferro e não tiveram efeito sobre os teores de cobre no solo; na planta ocorreram aumentos de concentração de ferro e cobre e diminuição dos teores de manganês. Na mais alta dose de calagem (6 t/ha), as plantas cultivadas com calcário Irati, apresentaram teores de zinco, significativamente mais elevados do que aquelas cultivadas com calcário comercial, uma vez que o incremento desse material, provocou uma diminuição da concentração do elemento na planta, enquanto que doses crescentes do calcário Irati, mantiveram os níveis de zinco constantes, evidenciando assim, a disponibilidade às plantas do zinco existente no calcário Irati. Até a dose de 3 t/ha, a qual elevou o solo a uma porcentagem de saturação de bases considerada adequada para o cultivo do milho, ambos os calcários, comportaram-se de maneira equivalente quanto a produção de massa seca e diâmetro do colmo da planta de milho.

ABSTRACT

This study was conducted with the purpose to compare the efficiency of Irati formation liming on grown of corn in relation to a commercial liming, as well as to verify the different dynamics of increasing rates of both liming material on supplying of sulfate, cooper, iron, manganese and zinc, as much as soil and plant. Two experiments were carried out a greenhouse at Agrarian Science Setter of UFPR, on a Cambissolo Tb, sandy, from grass-land situated in Palmeira-PR. The first experiment was conducted in pots and the second one in vases. The treatments were 2 liming materials (Irati formation liming and a commercial liming), and five increasing liming rates in t/ha CaCO_3 equivalent (0,00; 0,75; 1,50; 3,00 and 6,00) arranged in factorial way. In the experiment conducted in pots were tooked six samples at 1, 5, 15, 60, 90 e 280 days of incubation. Higher soil sulfate teor was obtained with Irati liming, beyond, increasing Irati liming rates and incubation time, resulted in increases soil sulfate teor. In the experiment conducted in vases, increases Irati liming rates raised the soil sulfate teor, which reached 49 $\mu\text{g/g}$ in higher rate and in the other hand, increases in commercial liming rates did not affect the sulfate teor in soil. Those differences between liming sources did not reflect on the plant sulfur teor. In spite of the fact that soils limed with Irati liming showed cooper iron and manganese teor extracted with DTPA-TEA, 5%, 10% and 9%, respectively higher than those limed with commercial liming, the elements content on plants did not alter. Otherwise, increasing liming rates caused decreases on soil manganese and iron concentration, but did not affect soil cooper extracted with DTPA-TEA. In the plants the same increases, decrease manganese concentration and raises a iron and cooper concentration. Plants grown the highest Irati formation liming rate (6 t/ha), showed zinc plant teor higher than those cultivated with commercial liming, at the same rate. Increment of commercial liming caused reductions on element concentration and increases of Irati liming did not affect the concentration of zinc plant. Until 3 t/ha, adequaded rate of liming, both of liming materials, have the same behavior on production of dry matter and stalk diameter of corn plants.

1 INTRODUÇÃO.

No estado do Paraná a presença de acidez, em grande parte dos solos, constitui séria limitação à produtividade agrícola de inúmeras regiões. Dados revelam que cerca de 60% dos solos paranaenses necessitam de corretivos para neutralizar a acidez. Isto equivaleria a um consumo de cerca de 27,5 milhões de toneladas de calcário, no primeiro ano, a fim de manter ou corrigir a fertilidade dos mesmos. (SEAB, 1987a).

Não obstante ter o Paraná a segunda maior reserva de calcário do País, com uma capacidade de moagem instalada na ordem de 10 milhões de toneladas / ano, o consumo no Estado na safra 86/87 foi de apenas 840.000 toneladas, média que vem se mantendo desde 1980. Por outro lado, recentemente, a adoção de programas de governo fez a quantidade utilizada de calcário chegar a 2.812.442 toneladas na safra 92/93, e ainda assim corresponde à apenas 10% da carência estimada de calcário.

A maior parte deste corretivo, vem sendo preferencialmente utilizada em terras cuja exploração agrícola está voltada para culturas de exportação. Em regiões de solos notadamente pobres onde impera a produção de culturas destinadas ao mercado interno, a utilização de calcário é bastante reduzida ou nula. Isto pode ser evidenciado pela quantidade consumida deste insumo nos municípios componentes do Núcleo Regional da SEAB de União da Vitória, região sul do Paraná: apenas 0,21% do total, a menor do estado. (SEAB, 1987a).

No Município de São Mateus do Sul, que faz parte do Núcleo Regional acima citado, apenas 15% dos estabelecimentos agrícolas utilizaram calcário, segundo dados do FIBGE (1985), contra uma taxa de utilização de 68% de adubos químicos. Isto significa que a cada 4,5 estabelecimentos que usam adubo químico, somente um aplica calcário.

Uma vez que solos ácidos tem alto poder de fixação de fósforo em formas menos disponíveis às plantas, boa parte do adubo químico colocado nos solos é retido. Desta forma há um desperdício econômico significativo porque os adubos químicos não são usados eficientemente.

O benefício da calagem pode ser configurado de duas maneiras: o agregado ou global, que seria representado pela economia no uso de fertilizantes, principalmente daquilo que o País ainda gasta divisas com sua importação e o segundo o benefício ao nível de propriedade, em que, ao obter melhores colheitas, o agricultor aumenta sua renda e conseqüentemente melhora a sua condição social. (SEAB, 1987b)

Ao examinar-se a média de produtividade da cultura do milho do Núcleo Regional de União da Vitória que foi de 1.309 Kg/ha, contra uma média estadual de 2.046 Kg/ha, fica evidenciado a necessidade de utilização de técnicas apropriadas, entre elas, a correta fertilização dos solos, para que as produtividades, a nível municipal e estadual possam aumentar. Principalmente quando considera-se que o Estado do Paraná vem sendo o maior produtor de milho do País, sendo responsável na safra de 1991, por 20,33% do milho colhido no Brasil.

No município de São Mateus do Sul, a PETROBRÁS - SIX, Superintendência de Industrialização do Xisto, explora o folhelho pirobetuminoso da formação Irati para obtenção de óleo combustível. No processo são retiradas grandes quantidades de um material, rico em carbonato de cálcio e magnésio denominado marga. Trata-se na verdade de um calcário com altos teores de magnésio, considerado em boa parte como rejeito de mineração e com uma taxa de produção diária de 8.000 t/dia.

O comportamento deste material no solo e sua composição química foi estudado anteriormente por DOS ANJOS (1991), o qual constatou que apesar do baixo PRNT deste calcário, o mesmo continha em comparação a outro calcário comercial, maiores teores totais de elementos minerais tais como: enxofre, cobre, ferro, manganês e zinco. Contudo como o trabalho não testou este material com plantas restou a necessidade de comprovação da real disponibilidade destes elementos para estas bem como o estudo da influência do calcário Irati em relação ao calcário comercial sobre parâmetros de produção da planta.

No entanto, se por um lado, o efeito da calagem sobre a disponibilidade dos micronutrientes, devido ao aumento de pH do solo, é bem conhecido; não encontra-se tão bem elucidado o valor dos calcários como possíveis fontes de micronutrientes solúveis e outros elementos. A maioria das análises de calcários publicadas tem como base valores de teores totais dos elementos, os quais muitas vezes incluem formas insolúveis.

A afirmativa de CHICHILO & WHITTAKER (1961) traz a tona esta possibilidade de calcários serem fontes de elementos:

"Comparando as quantidades dos elementos removidos do solo pelos cultivos, ou às quantidades dos elementos adicionados ao solo, para correção de deficiências, muitos calcários contêm importantes quantidades de Mg, Fe, Mn, Mo, S e Zn a taxas de calagem normalmente aplicadas ao solo"

Do exposto acima, o presente trabalho, tem o objetivo de:

- a) Estudar o calcário Irati como fornecedor de enxofre, cobre, ferro, manganês e zinco à planta de milho;
- b) Verificar a influência de um calcário comercial e do calcário Irati no pH e na quantidade de enxofre, cobre, ferro, manganês e zinco, extraída do solo e;
- c) Comparar a influência do calcário Irati sobre o crescimento da planta de milho, em relação a um calcário comercial.

2 REVISÃO DE LITERATURA

2.1 MATERIAIS CORRETIVOS

2.1.1 Materiais corretivos utilizados para calagem.

A expressão corretivo agrícola é definida como: materiais que contém compostos de Ca e Mg capazes de neutralizarem a acidez do solo. O principal produto utilizado para a calagem é o calcário, o qual pode ser calcítico ou dolomítico (BARBER, 1967).

No entanto, outros materiais, além do calcário, são utilizados como corretivos, e MALAVOLTA (1981), cita como outras fontes: conchas moídas, óxido de cálcio ou cal virgem, cal hidratada, magnesita, dolomita ativada e escória de siderurgia de ferro e aço. Outros autores citam variadas alternativas aos calcários tais como: ERNST & STIVERS (1982) que estudaram cimento portland como corretivo, MARSH & GROVE (1992) trabalhando com um resíduo resultante de método utilizado para reduzir a emissão de enxofre ao meio quando carvão ou óleo são queimados; MIRANDA (1985) estudou a eficiência de dois calcários marinhos (Lithothame C e Lithothame 400) de procedência francesa e de um calcário comercial, na correção da acidez do solo e no fornecimento de cálcio, magnésio e micronutrientes para a cultura do milho. Finalmente pode-se citar a utilização de margas, que é caracterizada por BARBER (1984) como material amorfo, maleável, rico em CaCO_3 , usualmente encontrado em áreas mal drenadas. Normalmente contém pequenas quantidades de MgCO_3 e seu equivalente em CaCO_3 varia, dependendo da quantidade de impurezas que contém.

2.1.2 Enxofre, cobre, ferro, manganês e zinco na composição de materiais corretivos

DOS ANJOS (1991), em dissertação precursora a esta, estudando os materiais ora aqui abordados, encontrou conforme TABELA 01, as seguintes variações de enxofre, cobre, ferro manganês e zinco nos dois materiais corretivos.

Quanto ao enxofre o autor anteriormente citado ainda comenta que o teor do elemento encontrado no calcário Irati é significativo, podendo constituir-se em importante fonte para o solo e na hipótese que o elemento esteja facilmente disponível às plantas, a quantidade em uma tonelada deste calcário equivaleria a aproximadamente 94 Kg de gesso agrícola.

Ainda o teor de enxofre existente no calcário Irati conforme observado na TABELA 01, apresenta-se superior a variação do elemento encontrado em calcários da Inglaterra e Estados Unidos da América (CHATER & WILLIAMS, 1974 e CHICHILO & WHITTAKER, 1961). Estes últimos ainda afirmam que considerando uma rotação de culturas com duração de cinco anos, apenas 3% dos calcários estudados poderiam suprir as necessidades de enxofre.

Quanto aos valores dos outros elementos (Cu, Fe, Mn e Zn), estes encontram-se dentro da variação obtida por CHICHILO & WHITTAKER (1961). Já CHATER & WILLIAMS (1974) encontraram valores inferiores de cobre e ferro e valores superiores manganês e zinco, quando comparados às variações destes elementos no calcário Irati (TABELA 01).

No Brasil, VALADARES et alii (1974) estudando 31 calcários usados como corretivos de solo no estado de São Paulo, dos quais 16 eram calcários sedimentares, 14 calcários metamórficos e um calcário magmático encontraram valores de micronutrientes conforme descritos na TABELA 01 e concluíram que o calcário magmático é mais rico em micronutrientes do que os sedimentares e estes mais ricos do que os metamórficos.

TABELA 01: VARIAÇÃO DOS TEORES EM $\mu\text{g/g}$ DE ENXOFRE, COBRE, FERRO, MANGANÊS E ZINCO EM MATERIAIS CORRETIVOS, PROVENIENTES DO BRASIL, ESTADOS UNIDOS DA AMÉRICA E INGLATERRA.

Calcário	Variação do elemento $\mu\text{g/g}$					Fonte
	Enxofre	Cobre	Ferro	Manganês	Zinco	
Comercial		1,5-2,0	489-559		5-9	DOS ANJOS (1991)
Irati	13.900-16.500	30-34	21.319-22.717	1.006-1084	50-60	DOS ANJOS (1991)
Sedimentar		5,4-27,3	826-12.055	720-1.850	9-30	VALADARES et al. (1974)
Metamórfico		5,5-23,5	159-7.098	30-1.760	7,5-25	VALADARES et al. (1974)
Magmático		42,2	33.110	1.040	46	VALADARES et al. (1974)
Lithothame C		10	2.695	65	97	MIRANDA (1985)
Lithothame 400		3	1925	59	22	MIRANDA (1985)
E.U.A.	<100-13.500	<0,3-58,5	100-23400	20-3.000	<1-425	CHICHILO & WHITTAKER (1961)
Inglaterra	0-2.920	0,2-18,5	35-6590	20-1600	1,4-196	CHATER & WILLIAMS (1974)

Comparando na TABELA 01, os teores existentes no calcário Irati, de origem sedimentar com aqueles de mesma origem estudado por VALADARES et alii (1974) verificam-se valores superiores de cobre, ferro e zinco e valores inferiores de manganês no calcário Irati.

Com base nos valores obtidos, VALADARES et alii (1974) comentam que quantidades de micronutrientes adicionadas ao solo via calcários são muito pequenas quando comparadas àquelas adicionadas na forma de adubo e considerando o volume de manganês, ferro, cobre e zinco retirado pelas culturas de café, cana-de-açúcar e soja, e que 2 t/ha dos calcários poderiam garantir apenas as retiradas de manganês e ferro. Para o zinco, os valores adicionados são inferiores aos exigidos e finalmente no caso do cobre, este balanço depende da cultura.

Contraditoriamente CHICHILO & WHITTAKER (1961) afirmam que em uma rotação de culturas com duração de cinco anos, 75% dos calcários por eles estudados poderiam suprir as necessidades de manganês, 99% compensariam a retirada de ferro do solo, 12% supririam a necessidade de zinco e que as quantidades de cobre adicionadas raramente supriam as quantidades retiradas do solo

2.2 MATERIAIS CORRETIVOS NO SOLO

2.2.1 Efeitos sobre características físicas, químicas e biológicas do solo.

Os solos de regiões úmidas desenvolvem-se, normalmente, sob condições, as quais, durante a maior parte do ano, a taxa de chuvas ultrapassa a taxa de evapotranspiração. Isto provoca um esgotamento gradual das bases do solo, e desenvolvimento da acidez. Os minerais de argila destes solos, frequentemente são constituídos por hidróxidos de Al e Fe. Estes materiais significativamente afetam a retenção e a disponibilidade de nutrientes em solos ácidos.

Solos minerais, com pH 5,0 ou menor, contém quantidades apreciáveis de Al e Mn na solução do solo, os quais tem efeitos prejudiciais ao crescimento das plantas. Máximas produtividades e uso eficiente de fertilizantes em solos ácidos requerem, utilização de corretivos para neutralizar condições tóxicas de Al e Mn. (KAMPRATH & FOY, 1971; p. 105).

Segundo FASSBENDER (1982, p.188) a calagem tem efeitos positivos sobre as propriedades de um solo, podendo ser citado no que se refere as propriedades físicas: melhor agregação de partículas e estrutura, melhores condições de aeração e movimento de água. Como melhoria nas condições químicas: aumento da quantidade de hidroxilas e diminuição de ions de hidrogênio na solução do solo; diminuição da toxicidade de alumínio, manganês e ferro; regulação da disponibilidade de fósforo e molibdênio; aumento da disponibilidade de cálcio e magnésio; aumento da porcentagem de saturação de bases. E finalmente para condições biológicas observa-se ocorrência na melhoria de desenvolvimento dos microrganismos, especialmente bactérias, aumento da mineralização da matéria orgânica e melhora nos processos de amonificação, nitrificação e fixação biológica de nitrogênio.

Por outro lado também é comentado por SÁNCHEZ (1981, p. 251) e FASSBENDER (1982, p. 189), que o excesso de calcário tem efeitos deletérios tais como: deterioração da estrutura do solo; diminuição da disponibilidade de fósforo, boro, zinco e manganês; aumento da velocidade de decomposição da matéria orgânica o que acelera a sua perda; e por último o efeito adverso na relação Ca/K podendo assim induzir a deficiência de potássio.

Assim como para outros corretivos, espera-se que tanto o calcário comercial como o Irati proporcionem um aumento no pH do solo, o que foi verificado graficamente por DOS ANJOS (1991).

2.2.2 Avaliação da disponibilidade de enxofre, cobre, ferro, manganês e zinco no solo

Segundo LOPES & CARVALHO (1988), uma das fases mais críticas de um programa de avaliação da fertilidade do solo, tanto para macro como para micronutrientes é a calibração de métodos de análise de solos e correlação com respostas de produção. Um resultado obtido de uma análise de solo não apresenta nenhum valor por si só e pode não refletir a disponibilidade do nutriente em questão; e um ponto que merece ser enfatizado é que uma boa correlação obtida sob condições de casa de vegetação, não prova a eficiência de um método particular de análise de solos, isto só pode ser definitivamente avaliado a nível de experimentação no campo.

No Brasil, a grande maioria dos trabalhos de calibração e correlação que permitiram avaliar níveis críticos, foi desenvolvida com o elementos fósforo, potássio, cálcio e magnésio. São bastante raros estudos sistemáticos envolvendo avaliações de níveis críticos para análise de enxofre e micronutrientes a nível de campo.

Tais afirmativas tornam-se mais complexas ainda se for considerado que a disponibilidade de micronutrientes e enxofre é bastante afetada por modificação nas condições do solo tais como: pH, conteúdo de matéria orgânica, tipo de cultura, alterações provocadas pela planta na rizosfera para proporcionar uma melhor absorção, atividade microbiana etc..., e um bom extrator teria que refletir esta mudança de comportamento da disponibilidade dos nutrientes.

Usando como extrator o $\text{Ca}(\text{H}_2\text{PO}_4)_2$, TABATABAI & BREMNER (1972) trabalhando com solos de Iowa-EUA, encontraram uma variação nos teores de enxofre no solo de 2,4 a 11,0 μg de sulfato por g de solo e tendo como média 5,6 $\mu\text{g/g}$. Trabalhando mais localmente, com solos especificamente do Paraná e São Paulo NEPTUNE et alii (1975) encontraram uma variação de 4,8 a 23,3 $\mu\text{g/g}$ e média de 11,2 $\mu\text{g/g}$ e ainda neste mesmo trabalho afirmaram que a única forma de ocorrência de enxofre inorgânico nos solos bem drenados brasileiros é na forma de sulfato, nem sulfito ou outra forma inorgânica de enxofre pode ser detectada nos solos analisados.

Em estudos semelhantes DO NASCIMENTO & MORELI (1980) analisando solos do Rio Grande do Sul, constataram uma variação nos teores de enxofre total de 37 a 409 $\mu\text{g/g}$ (média de 235 $\mu\text{g/g}$), e os teores de sulfato tendo como mínimo 2,1 $\mu\text{g/g}$; valor máximo de 10 $\mu\text{g/g}$ e apresentando média de 5,7 $\mu\text{g/g}$, quando foi utilizado como extrator o nitrato de magnésio. Calculando-se o teor de enxofre orgânico pela diferença entre o enxofre total e o enxofre em forma de sulfato, nos solos estudados, encontra-se um teor médio de 299 $\mu\text{g/g}$, ou seja, 97,6% do elemento encontra-se na forma orgânica. Neste mesmo trabalho observou-se que o enxofre total apresenta boas correlações com o carbono orgânico e com o enxofre orgânico, podendo-se esperar altos teores de enxofre total e orgânico sempre que houver alto teor de matéria orgânica. Por outro lado solos arenosos, que apresentam baixos teores de matéria orgânica apresentaram baixos teores de enxofre. Não foi encontrada correlação significativa entre enxofre total e enxofre na forma de sulfato, ou entre este e enxofre orgânico. Isso indica que não se pode esperar uma mineralização do enxofre orgânico proporcional ao seu teor no solo.

Da mesma forma, foi obtido por WOLFFENBUTTEL & TEDESCO (1981) correlações altamente significativas entre S-total e C-orgânico ($r = 0,907^{**}$) e N-total do solo ($r = 0,973^{**}$). E as correlações encontradas entre S-total e teor de argila ($r = 0,953^{**}$) e de sesquióxidos ($r = 0,798^{**}$), são justificadas pela adsorção de SO_4 à superfície das argilas e óxidos de alumínio e/ou ferro.

MURAOKA et alii (1983) trabalhando com feijão, fizeram testes em seis solos do Estado de São Paulo com água e diversos extratores ácidos (H_2SO_4 0,05 N, HCl 0,1 N e CH_3COOH 0,05 M e 0,5 M), em diferentes tempos de agitação com extratores salinos (MgCl_2 0,5 M, CaCl_2 0,5 M, CoSO_4 0,5 M, $\text{Ca}(\text{CH}_3\text{COO})_2$ 0,5 M e KNO_3 1N) e com agentes quelantes EDTA 0,005 M e DTPA, esses, juntamente com diferentes concentrações de CaCl_2 e tempos de agitação. Como conclusão observou-se que, dentre os extratores testados o CaCl_2 0,5 M foi o que melhor estimou a disponibilidade do manganês para o feijoeiro e o DTPA não foi eficiente para alguns

solos. Os outros extratores, na sua maioria, ou não o fizeram ou pouco discriminaram a disponibilidade de manganês com ou sem calagem.

No estado do Paraná, BORKERT et alii (1984) fizeram estudos de seleção de métodos em seis solos, para avaliar a disponibilidade de manganês para a soja. Usaram como soluções extratoras o cloreto de estrôncio 0,001 M, acetato de amônio 1 N pH 7,0, nitrato de magnésio 1 N e ácido clorídrico 0,1 N. Os resultados obtidos indicaram que os coeficientes de correlação entre o manganês extraído pelas soluções e o absorvido pela soja foram de 0,88; 0,76; 0,75; 0,38; respectivamente para os extratores acima citados. Portanto, dentre as soluções estudadas, a extração com ácido clorídrico é a menos indicada para estimar o manganês "disponível" para as plantas nestes solos. Os outros três extratores têm eficiência semelhante entre si.

BATAGLIA & VAN RAIJ (1989) trabalhando com 26 tipos de solos, em casa de vegetação observaram que tanto para o ferro como para manganês, apesar de existir grande variabilidade destes elementos nos solos, os coeficientes de correlação entre os teores no solo e na planta (sorgo e girassol) foram muito baixos, indicando que nem o HCl 0,1 M (1:4) e nem o DTPA (1:2) destacaram-se como bons extratores para estes elementos. Por outro lado particularmente no caso do manganês ASSMANN (1993) trabalhando com milho e doses crescentes do elemento em casa de vegetação, observou que para os três níveis de manganês aplicado ocorreu uma tendência de correlação entre os teores de manganês disponível no solo, extraído pelo HCl 0,1 N, e os teores de manganês absorvidos pela planta.

Para o cobre as correlações entre a concentração do metal no solo e as concentrações na planta de sorgo mostram um comportamento semelhante dos dois extratores, com coeficientes de correlações de 0,514 para o DTPA e 0,660 para o HCl 0,1 N. E finalmente para o zinco ambos os extratores apresentam correlações significativas entre a concentração do elemento no solo e a concentração do mesmo nas plantas, sendo o DTPA, o único extrator que discriminou o efeito da elevação de pH sobre a concentração de zinco no solo, possivelmente por serem os extratores

ácidos, suficientemente enérgicos para superar os efeitos da calagem e, acidificando o solo durante o período de agitação, acabam solubilizando os micronutrientes. (BATAGLIA & VAN RAIJ, 1989)

Avaliando os efeitos do pH na extração de manganês, zinco, cobre e ferro do solo CAMARGO et alii (1982) encontraram correlações significativas (92%) entre o pH e o teor de manganês extraído pela solução de DTPA-TEA, enquanto que para o extrator ácido, em muitos casos, houve um aumento no teor de manganês para os solos que receberam doses de calcário, que elevaram o pH até 6,6. Contraditoriamente para o zinco ambos os extratores falharam em discriminar o comportamento deste em solos que receberam diferentes doses de CaCO_3 . No caso do cobre, em 87% dos solos estudados houve correlação negativa entre o pH e o teor de cobre extraído pelo DTPA-TEA, enquanto em apenas 58% foi obtida correlação com cobre extraído pela solução ácida. E para o ferro ambos os extratores discriminaram melhor as variações do teor do elemento com o pH, e ainda aqui os teores extraídos com DTPA-TEA correlacionaram-se melhor com o pH do que para o extrator ácido.

Concordando com o autor supra citado no aspecto que se refere ao efeito do pH sobre os teores de zinco, RITCHEY et alii (1986) não observaram variação nos teores de zinco determinados no solo pelo extrator DTPA-TEA e HCl 0,1 M, entre os diferentes níveis de calcário aplicados ao solo.

Quanto a disponibilidade de cobre pode-se dizer que tanto o DTPA 0,005M pH 7,3, como o HCl 0,1 N e o Na_2EDTA 1,0%, são eficientes para a avaliação do cobre disponível no solo; sendo que o valor r entre o cobre extraído do solo pelo HCl 0,1 e o absorvido pelo milho foi igual a 0,731**; e quando utilizou-se como extrator o DTPA pH 7,3 o coeficiente foi de 0,766**. (DA CRUZ & FERREIRA, 1990).

2.2.3 Níveis críticos de enxofre, cobre, ferro, manganês e zinco no solo

Ao que se refere aos níveis críticos de enxofre, cobre, ferro, manganês e zinco no solo, as informações são bastantes incipientes.

FOX et alii (1964) em estudos para calibração de níveis críticos de enxofre do solo extraído com fosfato monocalcico, para a cultura do milho foram classificados da seguinte maneira: (a) 0 a 4 $\mu\text{g/g}$ - resposta à aplicação de enxofre assegurada; (b) 4 a 8 $\mu\text{g/g}$ - possível resposta à aplicação de enxofre e (c) mais que 8 $\mu\text{g/g}$ - resposta improvável à aplicação de enxofre. KLIEMANN (1987) cita como nível crítico de enxofre para o milho em ensaio conduzido em casa de vegetação o nível de 11 $\mu\text{g/g}$. Aproximando-se muito dos níveis apontados anteriormente, PALASKAR & GHOSH (1985), em experimento em casa de vegetação com plantas de milho, apontam como nível crítico de sulfato no solo extraído com fosfato monocalcico o valor de 10 $\mu\text{g/g}$, sendo que 64% dos solos com valores acima deste nível, não responderam a aplicação de enxofre quando analisada a produção de massa seca.

COX & KAMPRATH (1983) descrevem que os níveis críticos de zinco e manganês disponíveis no solo estão diretamente relacionados com o extrator, tipo de cultura, pH e com o teor de matéria orgânica do solo e usando o HCl 0,1 N encontraram a variação de 1 a 7,5 μg de zinco por g de solo como nível crítico para o milho. Já LINS & COX (1989) considerando que a disponibilidade de zinco varia de acordo com o pH e trabalhando com diversos solos com diferentes teores de argila e níveis de pH, sugerem como nível crítico para solos com baixa CTC, os valores de: 1,0; 1,4 e 2,0 $\mu\text{g/g}$, correspondentes aos respectivos níveis de pH 5,2; 5,7 e 6,2, utilizando para esta determinação o método Carolina do Norte (Mehlich). Sendo que para GALRÃO & MESQUITA FILHO (1981) e LOPES (1984a) o nível crítico de zinco para solos do cerrado é de 1 $\mu\text{g/g}$.

RITCHEY et alii (1986) obtiveram como nível crítico para o milho o valor de 1,4 μg de zinco por g de solo, quando utilizado o extrator HCl 0,1 e o nível de 0,7 $\mu\text{g/g}$ quando utilizado o

DTPA-TEA, valor muito próximo ao valor de $0,75 \mu\text{g/g}$ encontrado por THIND et alii (1990) e a $0,8 \mu\text{g/g}$ obtido por LINDSAY & NORVEL (1978) em estudo com 32 tipos de solos cultivados com milho em casa de vegetação e utilizando o mesmo extrator. Ainda estes últimos autores apontam como níveis críticos de Fe, Mn e Cu no solo os valores de: $4,5 \mu\text{g/g}$; $1,0 \mu\text{g/g}$ e $0,2 \mu\text{g/g}$, com HCl 0,1 N.

No que se refere ao ferro e ao manganês disponíveis para LOPES (1984) estes parecem estar em níveis adequados para a maioria das culturas nos solos estudados, e COX & KAMPRATH (1983) indicam para o manganês o nível crítico de $5 \mu\text{g/g}$ quando utilizado o extrator Mehlich.

FERREIRA & DA CRUZ (1991) comentam que quanto ao nível de crítico de cobre em solos do Brasil, as informações são escassas assumindo-se em alguns casos simplesmente níveis estabelecidos em outros países e citando LINS & COX (1989), apontam como nível crítico de cobre no solo para a cultura do milho a concentração no solo de $0,5 \mu\text{g/g}$ quando extraído com DTPA.

2.2.4 Influência da calagem sobre os teores de enxofre, cobre, ferro, manganês e zinco no solo

É comum a prática de calagem muitas semanas antes do plantio para permitir que o calcário reaja com o solo. Isto pode afetar muito a capacidade de suprimento de enxofre dos solos, uma vez, que o aumento de pH diminui a capacidade de adsorção aniônica dos solos (COUTO et alii, 1979 e KAMPRATH et alii, 1956). Este efeito é usualmente atribuído a competição entre OH^- e SO_4^{2-} pelos sítios de adsorção dos óxidos hidróxidos de Al e Fe (HINGSTON et alii, 1972). A calagem também pode aumentar a taxa de mineralização do enxofre orgânico pela criação de um ambiente mais favorável para a atividade microbiana (WILLIAMS, 1967). Quando o SO_4^{2-} acumulado não é removido por lixiviação ou absorção por plantas, os efeitos combinados de

decréscimo de adsorção de sulfato e aumento de mineralização resultam em um aumento na disponibilidade de enxofre para as plantas. No entanto este aumento de disponibilidade de enxofre pode variar de solo para solo, de acordo com propriedades de cada um, e condições ambientais, tais como: quantidade de enxofre orgânico e sulfato adsorvido, capacidade de desorção de sulfato, pH do solo e temperatura (KORENTAJER et alii, 1983).

ELKINS & ENSMINGER (1971) trabalhando com um solo que continha elevadas quantidades de sulfato adsorvido, encontraram que a adição de CaCO_3 e conseqüentemente o aumento de pH, provocou um aumento de sulfato na solução do solo de aproximadamente 17 (dezesete) vezes quando o pH variou de 5,0 a 7,6. KAMPRATH et alii (1956) encontraram em dois tipos de solos estudados que a maior adsorção de sulfato ocorreu a pH 4,0, que foi o pH mais baixo estudado. No solo em que predominava minerais do tipo 2:1, não foi encontrado sulfato adsorvido nem a pH 5 ou 6 e no solo que continha minerais do tipo 1:1 houve uma pequena redução na quantidade de sulfato adsorvido quando o pH passou de 4 para 5 e uma marcada redução quando o pH atingiu 6. Estes resultados indicam que pouco sulfato poderá estar ligado à superfície dos colóides quando o solo for calcariado e atingir pH 6 ou mais, concordando com os dados obtidos por MARTINI & MUTTERS (1984), os quais constataram que indiferentemente ao tipo de solo e horizonte, quando o pH foi de aproximadamente 6,5 a adsorção é mínima e perdas por lixiviação são máximas. Observou-se também um aumento nos níveis de S-SO_4 de 3,6 a 6,0 $\mu\text{g/g}$ sem a aplicação de enxofre no solo e com calagem na taxa de 2.000 Kg/ha provocando um aumento de pH fazendo com que o S-SO_4 adsorvido passasse a ser desorvido ou mais facilmente extraível. Quando grandes quantidades de enxofre foram aplicadas o calcário não teve muito efeito no nível S-SO_4 do solo.

Já para o cobre extraído pelo DTPA, JAHIRUDDIN et alii (1986) não observaram nenhuma tendência de comportamento do elemento com o aumento do pH. Esta manutenção nos

teores de cobre não seria esperada, uma vez que, segundo TISDALE et alii (1985) uma elevação no pH provocaria um aumento de adsorção do cobre, tendo como explicações prováveis:

- a) Um aumento no número de sítios pH dependentes nos coloides;
- b) Redução na competição com os íons H^+
- c) Mudança do estado de hidrólise do cobre em solução (mudança de Cu^{+2} para $Cu(OH)^+$,

que parece ser a forma preferencialmente adsorvida.

KAMPRATH & FOY (1971) citando Yonts & Paqtterson comentam que a elevação do pH do solo aumenta a ligação do cobre com grupos fenólicos e carboxílicos da matéria orgânica e provavelmente, segundo HODGSON et alii (1966) esta forte complexação do cobre pela matéria orgânica seja um fator importante para explicar porque em certos solos não ocorre deficiência desse elemento para as plantas com elevação do pH, assim como acontece para o zinco e muitas vezes, não verificando-se nenhum efeito do pH sobre a concentração do cobre nas plantas.

Segundo JAHIRUDDIN et alii (1986) uma vez que o DTPA possui afinidade relativamente baixa pelo manganês, o aumento de pH tem um efeito marcante sobre a diminuição dos teores deste elemento no solo. E um leve decréscimo foi observado nos teores de ferro extraídos com DTPA, com aumento de pH.

GUPTA & SINGH (1990) observaram que a adição de calcário provocou uma redução na quantidade de ferro disponível na solução do solo.

JAHIRUDDIN et alii (1986) utilizando o DTPA como extrator de zinco, constataram depois de seis meses de incubação que o aumento das taxas de calagem provocaram uma marcada supressão nos teores de zinco no solo. LINS & COX (1989) constataram que aumentos de pH de 5,2 para 6,2, não tiveram efeito sobre a concentração de zinco extraível pelo Mehlich-1 e observaram ainda, que quanto mais alto o pH, menor era a concentração de zinco na planta e maior o nível crítico de zinco no solo.

A deficiência de zinco ocorre normalmente em plantas que crescem em solos altamente intemperizados e em solos com pH elevado. A baixa disponibilidade de zinco em solos com alto pH resulta principalmente da adsorção de zinco nas argilas e nos CaCO_3 , em taxa muito maior do que a formação de zinco solúvel Zn(OH)_2 ou ZnCO_3 (TREHAN & SEKHON, 1977).

EL-KHERBAWY & SANDERS (1984) observaram que o DTPA, foi capaz de constatar a variação de concentração de zinco e manganês no solo provocada pela variação de pH uma vez que as formas iônicas Zn^{+2} e Mn^{+2} são as espécies predominantes destes metais na solução do solo. Contraditoriamente para o cobre tal fato não foi constatado pois, o elemento mostrou uma grande formação de complexos na solução, a qual aumentou com aumento de pH fazendo com que a concentração de cobre permanecesse constante na solução do solo.

2.3 CALAGEM, ENXOFRE, COBRE, FERRO, MANGANÊS E ZINCO NAS PLANTAS

2.3.1 Resposta das culturas anuais a aplicação de calcário.

É amplamente reconhecido que acidez dos solos tem efeito prejudicial sobre as plantas e afetando desta forma, a produtividade das mesmas. A aplicação de corretivos da acidez de solos aumenta a produtividade de cereais, gramíneas, algodão, olerícolas entre outras. Mais especificamente para o milho, vários são os autores a descrever incrementos de produtividade da cultura promovidos pelo aumento de pH do solo (PRASAD et alii, 1983; DATTA et alii, 1983; QUAGGIO et alii, 1985b; NUWAMANYA, 1984 e MAKAYA, 1988). SMITH (1984) concluiu que a adição de calcário provocou um aumento no comprimento das plantas e um incremento de produtividade na ordem de 31% quando aplicado um calcário dolomítico.

Segundo JARIEL et alii (1991), as plantas podem ter seu crescimento limitado em solos ácidos por uma série de fatores, incluindo efeito direto de pH (excesso de concentração do íon H^+) bem como por toxicidade induzidas pelo pH (Al, Mn, etc...) e/ou insuficiência (Ca, Mg, P, Mo)

Em experimentos conduzidos em soluções nutritivas foi possível demonstrar que variando o pH de 4,00 a 9,00 não se tem influência marcante sobre a absorção de íons. Apenas pH inferiores a 4,00, produzem transtornos ao desenvolvimento radicular e pH superiores a 9,00 ocasionam uma absorção deficiente de fósforo. Disto resulta, que o efeito do pH, no desenvolvimento vegetal, encontra-se melhor associado com a influência exercida sobre as propriedades do solo, já comentadas anteriormente. Sendo assim, maior parte das plantas cultivadas tem seu desenvolvimento demarcado por uma série de fatores edáficos, que refletem uma determinada condição de pH. A maioria das culturas prosperam em condições de acidez fraca (pH 6,0-6,5). Sob condições de acidez crescem algumas plantas como: azálea, framboesas, e *Rhododendrum latino*. Na situação inversa, ou seja, em ambiente alcalino (pH 7,0-7,5), desenvolvem-se alfafa, trevo doce, aspargos. (FASSBENDER, 1982; p.185).

Para sete genótipos de planta de milho, JARIEL et alii (1991) trabalhando com soluções nutritivas, encontraram que todos os genótipos cresceram bem, com pH variando de 4,0 a 5,5, sendo que a máxima produção de massa seca foi obtida, para a maioria dos genótipos, a pH 4,6. Mais especificamente para cultivos em solo, para esta mesma cultura, boas produções são encontradas a uma faixa de pH variando de 5.0 a 6.0 (AMBAK et alii, 1991; NUWAMANYA, 1984).

As espécies e variedades de plantas cultivadas apresentam um comportamento diferencial frente ao Al^{+3} tóxico. Este comportamento está associado à alteração diferencial do pH do solo e do meio de cultura em torno das raízes das plantas e a habilidade destas em absorverem e utilizarem fósforo na presença de concentrações excessivas de Al^{+3} . Em trabalho realizado por

OLIVEIRA et alii (1983), 31 das 36 cultivares de milho testadas responderam positivamente à calagem, comprovando a sensibilidade da cultura à acidez do solo.

Contrastando o efeito da calagem nas produções com a diminuição dos teores de alumínio do solo, VAN RAIJ et alii (1983) constatou que a diminuição do elemento trocável no solo não apresenta relação linear com a produção, pois a produção continua a aumentar mesmo quando o alumínio já praticamente não ocorre. Os valores de saturação, por outro lado, refletiram melhor o efeito da calagem na produção das culturas estudadas. O pH, cujo o valor máximo atingido foi 5,9, também acompanhou bem os resultados de produção, sendo a produção máxima de grãos de milho atingida com valores de saturação de bases acima de 60% (QUAGGIO et alii, 1985a e VAN RAIJ et alii 1983).

Contudo calagens excessivas, muitas vezes fazem com que o pH do solo, ultrapasse a faixa considerada adequada para a planta, provocando decréscimos de produção (NUWAMANYA, 1984; AMBAK et alii, 1991; e MIRANDA, 1985, RITCHEY et alii, 1986), muitas vezes, sendo tal efeito atribuído a diminuição de disponibilidade de micronutrientes e em alguns casos a adição destes, reduz efeitos deletérios de pH elevados (AMBAK et alii, 1991; MIRANDA, 1985; PAYNE et alii 1986; THIND et alii 1990 e VILLARROEL et alii, 1981)

2.3.2 Níveis críticos de nitrogênio, enxofre, cobre, ferro, manganês e zinco na planta

O uso de análise de plantas para diagnose de deficiência de S em solo é baseada na noção que um elemento essencial deveria estar presente na planta à concentrações apenas suficientes para não restringir o crescimento da planta. Esta concentração é chamada de nível crítico sendo que acima do mesmo ocorre consumo de luxo. No entanto GAINES & PHATAK (1982) comentam que as plantas comportam-se de maneira diferente no que diz respeito ao acúmulo de enxofre, umas acumulando grandes quantidades, outras, embora excessos de enxofre estejam presente no

meio de crescimento da planta, acumulam pequenas quantidades do nutriente, sendo o milho enquadrado neste grupo, e consequentemente classificado como baixo acumulador de enxofre.

Segundo estudo feito por ENSMINGER & FRENEY (1966), até a data de publicação do trabalho, a única espécie que proporcionaria dados suficientes para determinar o nível crítico seria a alfafa, a qual possui um nível crítico de 0,20% de enxofre na planta, sendo que o nível crítico, para as outras plantas varia de 0,15 a 0,30 %, e que nesta variação estudada não foi incluída a planta de milho. FOX et alii (1964) citam 0,19 %, como nível crítico de enxofre na planta de milho, próximo a este nível está o citado por TRANI et alii (1983) 0,20 % e VITTI (1988, p.27) cita que plantas deficientes apresentam teores de 0,10% e plantas com um teor adequado de S devem apresentar em torno de 0,19%. Já para MALAVOLTA (1980) o nível crítico seria de 0,30 %. MARTINI & MUTTERS (1984) encontraram que em solos não calcariados a produção de massa seca da parte aérea e das raízes foi maior com a concentração de 0,19% de S na parte aérea e 0,41% nas raízes. Já para solos calcariados, as maiores produções foram obtidas com a concentração de 0,13% na parte aérea e 0,16% nas raízes. KLIEMANN (1987, p.128) encontrou como nível crítico de enxofre para plantas de milho cultivadas em solos arenosos, o valor de 0,14% para produção de matéria seca, além de afirmar que não se pode tomar o nível crítico de enxofre total nas plantas como um valor estático, pois ele pode variar em função do teor de enxofre disponível nos solos, níveis de nitrogênio, fósforo e outros nutrientes disponíveis no solo ou adicionados pela adubação, reação do solo e estágio de desenvolvimento da planta.

Além do teor absoluto de enxofre é também importante observar o equilíbrio do mesmo com o nitrogênio e fósforo, definido pelas relações N/S e P/S as quais poderão ser benéficas ou prejudiciais à produção e qualidade do produto obtido. A relação N/S já mais bem estudada, e a P/S menos estudada podem servir como base para se verificar a suficiência ou deficiência desse macronutriente secundário. Como a principal função do enxofre é a conversão do N não proteico (N mineral) em proteína, em plantas deficientes de S observa-se relação N/S mais elevada com

teores mais altos de N solúvel, amida e um menor teor de açúcares. O acúmulo de NO_3^- e de hidratos de carbono é devido a pequena assimilação de nitrogênio, resultante da baixa atividade da reductase de nitrato (VITTL, 1988 p.28).

Em termos de gramíneas, STEWART & PORTER (1969) verificaram que para uma parte de S são necessárias 12 a 15 partes de N para garantir a máxima produção de matéria seca e proteínas.

DISKSHOORN & VAN WIJK (1967) demonstraram que quando a planta atinge a maturidade, a relação N/S tende a se estabilizar em 14/1 nas gramíneas e 17/1 nas leguminosas, sendo que para uma relação N/S de 20/1 nas gramíneas ocorria séria deficiência de S. KLIEMANN (1987, p.131) constatou que o nível crítico de enxofre no tecido de plantas de milho foi de 0,14% para os solos arenosos, correspondendo a uma razão N/S por volta de 10/1.

Em estudo feito por GAINES & PHATAK (1982), estes afirmam que quando o suprimento de enxofre foi suficiente para o milho a relação N/S proteína ficou entre 15 e 16 para o milho, e que esta relação tem tendência de ser constante pois o milho é uma planta com baixa tendência de acumulação de enxofre.

Embora o valor de aproximadamente 3,0 % de nitrogênio, seja apontado como nível crítico na folha de milho (TRANI et alii, 1983 e MALAVOLTA, 1980), muitas vezes este valor pode decair até o teor de 1,1% quando analisada a planta inteira, conforme MALAVOLTA (1976). Em experimento conduzido por HANWAY (1962), observou-se que a porcentagem de nitrogênio na bainha das folhas e nos colmos encontra-se na maioria dos casos com concentrações inferiores a 1%, evidenciando assim, que a utilização de níveis críticos obtidos para estudos de teores do elemento na folha, muitas vezes quando extrapolados para planta inteira são demasiadamente elevados.

MARSCHNER (1986; p. 301, 306) comenta que pelo menos quatro enzimas das plantas contêm zinco: álcool desidrogenase, superóxido dismutase, carbonico anidrase e RNA polimerase.

Além disso o zinco é requerido como ativador de vários tipos de enzimas, incluindo desidrogenases, aldolases, isomerases, transfosforilase e RNA e DNA polimerase. Consequentemente, não é surpresa o fato da deficiência zinco normalmente estar associada com o enfraquecimento do metabolismo de carboidratos e síntese de proteínas.

O zinco também é requerido para síntese do triptofano, um precursor da síntese do ácido indol acético, responsável pelo alongamento celular, e que, situações de carência do elemento provavelmente podem ser responsáveis pelo encurtamento dos entrenós, sintoma típico de deficiência de zinco na planta de milho, conforme descrito por BÜLL & CANTARELLA (1993; p.128) e MARSCHNER (1986; p.310 e 311).

Como sintoma visual mais característico da deficiência de zinco MARSCHNER (1986; p.310) descreve que em dicotiledôneas ocorre encurtamento dos entrenós (roseta) e decréscimo drástico no tamanho das folhas. Frequentemente estes sintomas estão combinados com clorose, a qual pode ser altamente contrastante ou difusa. Em cereais tais como o milho, bandas cloróticas ao longo da nervura, freqüentemente ocorrem. Também é citado que as produções de grãos e sementes são afetadas em maior extensão pela deficiência de zinco do que a produção de massa seca, provavelmente porque o elemento participa especificamente na fertilização.

PUMPHREY et alii (1963) descrevem que nas plantas de milho sujeitas a carência do elemento, durante estágios vegetativos iniciais surgem listras amareladas e esverdeadas ao longo de cada lado das nervuras nas folhas mais velhas de plantas moderadamente deficientes. Se a deficiência persistir estas listras podem se tornar necróticas ou podem mudar para uma cor bronze-avermelhado. As folhas mais novas da planta normalmente permanecem normais. Sintomas de clorose e necrose nas folhas mais velhas de plantas deficientes de zinco são na maioria das vezes resultado de toxicidade de fósforo.

O nível crítico para deficiência de zinco encontra-se em aproximadamente 15-20 μg de zinco por grama de folhas secas (MARSCHNER, 1986). Mais especificamente para o milho

PUMPHREY et alii (1963) indicam como nível crítico de zinco nas folhas 15 μg do elemento por grama de matéria seca, o que está de acordo com MALAVOLTA (1980), MELSTED et alii, (1969) e JONES & ECK (1973) que indicam o mesmo nível e com TRANI et alii (1983) que indica um nível crítico um pouco mais elevado, próximo a 20 $\mu\text{g/g}$ na folha. Variações de nível crítico na planta foram observadas por COUTO et alii (1992), que estudando amostras de solos com diferentes valores do fator capacidade, apontou como nível crítico, desde o valor de 13 μg de zinco por grama de matéria seca, até o valor de 20 $\mu\text{g/g}$ de zinco, na parte aérea das plantas de milho, para produção máxima estimada de matéria seca.

No entanto o zinco parece de alguma forma estar relacionado com funções metabólicas do ferro nas plantas e frequentemente os níveis críticos de zinco nos tecidos das folhas falham em prever as deficiências de zinco. WATANABE et alii (1965) comentam que o efeito adverso nas produtividades de milho não encontra-se relacionado com o nível de ferro e zinco nas plantas, mas encontram-se associados com um decréscimo na relação Fe/Zn. E seguindo a mesma linha de raciocínio NAMBIAR & MONTIRAMANI (1981) chegaram a conclusão que a relação crítica Fe/Zn, no tecido da planta de milho, ficaria ao redor de 6,0 e que valores maiores que este poderiam indicar uma deficiência de zinco oculta e uma provável resposta a aplicação de zinco. Outro tipo de relação é apontada por VILLARROEL et alii (1981), que observaram, sintomas de deficiência de zinco na planta de milho quando a relação Zn/Mn+Fe, encontrava-se abaixo de 0,16.

Para JONES JR (1983) a concentração normal de cobre no tecido vegetal varia de 5 a 20 $\mu\text{g/g}$ e abaixo de 4 $\mu\text{g/g}$ poderá ocorrer deficiência. Mais especificamente para o milho segundo TRANI et alii (1983) este limite é de 9 $\mu\text{g/g}$ e para MALAVOLTA (1980) de 5 $\mu\text{g/g}$.

JONES JR (1983) classificou como teores normais de ferro na matéria seca a variação de 50 a 250 $\mu\text{g/g}$ e o surgimento de deficiência é provável quando plantas encontram-se com teores abaixo do primeiro nível citado.

Segundo MENGEL & KIRKBY (1987) a deficiência de ferro dificilmente ocorre provocada por baixos teores do elemento no solo, uma vez que, na maioria dos solos este encontra-se em teores adequados para as culturas. Por outro lado, em solos com pH próximo ao neutro é comum observar-se clorose em plantas provocadas pela deficiência do elemento. Na maioria dos casos, tal fato não é consequência de baixa disponibilidade do elemento no solo, mas sim, devido a uma desordem na fisiologia da planta. A presença de HCO_3^- no calcário é um importante fator que induz a clorose, este íon afeta a absorção e translocação do ferro na planta.

Para prever a deficiência de ferro é de fundamental importância a análise da interação deste com outros elementos, sendo a relação Fe/Mn na planta preponderante para avaliação do estado nutricional. Tal interação tem sido comumente observada em plantas cultivadas em solos ácidos, onde um aumento na absorção de manganês provoca uma menor absorção e transporte de ferro manifestando desta forma uma clorose internerval bastante semelhante a deficiência de ferro (OLSEN, 1983).

O cafeeiro é uma planta especialmente sensível a esta interação. GALLO et alii (1970) verificaram em cafezais deficientes em ferro uma relação Fe/Mn média nas folhas de 0,33; enquanto que onde não detectou-se deficiência as plantas apresentaram uma relação Fe/Mn de 1,09. Trabalhando com milho ASSMANN (1993) observou uma relação Fe/Mn de 0,17, em plantas que apresentaram sintomas de deficiência de ferro.

O conhecimento dessa interação Fe/Mn é útil para recomendação de correção e seus efeitos. No caso do cafeeiro, a calagem é a prática recomendada pelo fato de eliminar a deficiência de ferro pela redução na absorção de Mn (BATAGLIA, 1988).

No entanto a prática de calagem deve ser feita com a intenção de manter a planta com teores de manganês dentro daqueles considerados como faixa de suficiência, que segundo MARSCHNER (1986), deve estar entre 10 e 20 $\mu\text{g/g}$ na massa seca de folhas maduras e permanece indiferente com espécies de plantas, cultivares ou condições climáticas.. Abaixo deste

nível a produção de matéria seca, a fotossíntese líquida e o conteúdo de clorofila declinam rapidamente, embora as taxas de respiração e transpiração permaneçam sem alterações. JONES JR (1983) aponta como níveis críticos uma variação de 20 a 200 μg de manganês por grama de massa seca de milho, sendo que MALAVOLTA (1980), aponta como nível crítico para a mesma planta o valor de 10 $\mu\text{g/g}$.

Em contraste com a faixa estreita de níveis de deficiência, os níveis críticos de toxicidade variam largamente entre espécies e condições ambientais. E mesmo dentro de uma espécie os níveis críticos de toxicidade podem variar de 3 a 5 vezes entre as cultivares (OHKI et alii, 1980).

2.3.3 Efeito da calagem sobre a concentração de enxofre, cobre, ferro, manganês, zinco da planta.

As plantas que crescem em solos ácidos podem ter seu crescimento limitado por uma série de fatores, incluindo o efeito direto de pH (excesso de concentração hidrogênio iônica), bem como toxicidades induzidas pelo pH (Al, Mn e Fe) e/ou insuficiência de cálcio, magnésio, fósforo e molibdênio.

ELKINS & ENSMINGER (1971) observaram incrementos na concentração de enxofre total em plantas de soja e algodão submetidas à aumentos de taxas de calagem. Da mesma forma KORENTAJER et alii (1983) observaram o mesmo comportamento para plantas de milho, em solos que não sofreram lixiviação. Contraditoriamente MARTINI & MUTTERS (1984) avaliando plantas de milho, que cresceram em solos não calcariados, verificaram teores mais elevados de enxofre total na parte aérea da planta (0,19%) do que aquelas que cresceram em solos calcariados (0,13%); provavelmente devido ao efeito diluição, pois produções mais elevadas de massa seca de milho foram obtidas em solos calcariados, fazendo assim com que os teores de enxofre fossem menores em plantas cultivadas sobre estes solos.

Quanto ao nitrogênio na planta, muitos autores evidenciaram aumentos de concentração de nitrogênio total nas plantas provocados pela calagem (FORESTIERI & DE-POLLI, 1990; LIM & SHEN, 1978 e SMITH, 1984).

Já para o zinco, em trabalho feito por THOMPSON (1962) a adição de calcário teve pouco efeito sobre os níveis do elemento na palhada. SMITH (1984) encontrou que plantas cultivadas em solos corrigidos com calcário calcítico apresentaram teores de zinco inferiores do que a testemunha e quando a correção foi feita com calcário dolomítico os valores foram ainda menores. Tal fato também foi observado por LINS & COX (1989) que trabalhando com milho e aplicação de CaCO_3 e MgCO_3 , na proporção de 3:1, observaram que o aumento de pH provocou um decréscimo da concentração de zinco na planta, provavelmente este decréscimo possa ser explicado pelas condições mais favoráveis para que ocorra reações do zinco com grupos carboxílicos e hidroxilas no solo, os quais causariam uma redução na disponibilidade deste nutriente (LINDSAY, 1972). Segundo FORNO et alii (1975) concentrações elevadas de outros cátions divalentes tais como Ca^{+2} , bem como bicarbonato HCO_3^- podem inibir a absorção e translocação de zinco.. Alterações na concentração de zinco em plantas, semelhantes às descritas anteriormente, já foram observadas por vários outros autores, entre eles: PEPPER et alii (1983); MARTINI & MUTTERS (1985); PAYNE et alii (1986), RITCHEY et alii (1986), LUTZ et alii (1972). Em muitos experimentos fez-se necessária a adição de micronutrientes junto com a calagem para garantia de maiores produtividades. (AMBAK et alii, 1991; PAYNE et alii, 1986).

MIRANDA (1985) avaliando plantas de milho, cultivadas sobre solo corrigido com três tipos de calcário, constatou que o calcário marinho LITHOTHAME C apresentou melhor desempenho, devido, provavelmente, a seu maior teor de zinco, fato este constatado em análise nutricional das plantas, embora o uso do corretivo não dispensasse a aplicação de micronutrientes para solos deficientes desse elemento.

EL-KHERBAWY & SANDERS (1984) trabalhando com trevo observou quedas nos teores de manganês na planta provocados pela calagem e em trabalhos feitos por THOMPSON (1962) e LUTZ et alii (1972) em plantas de milho foi observado o mesmo. Igualmente SMITH (1984) encontrou que a adição de três tipos de calcários, variando de calcítico a dolomítico provocou um decréscimo no conteúdo de manganês na folha. Já YORK et alii (1954) observou que a primeira adição de CaCO_3 , provocou uma elevação de pH 5,0 a 5,9; acarretando um grande decréscimo na absorção de manganês pelo milho, e por outro lado, com a segunda aplicação (pH 6,8) não foi constatado efeito sobre os níveis de manganês, e contraditoriamente na terceira aplicação (pH 7,9) ocorreu um aumento na absorção de manganês.

Em trabalho realizado por THOMPSON (1962) a calagem teve pouco efeito sobre os níveis de cobre na palhada do milho. PAYNE et alii (1986) pesquisando soja; QUAGGIO et alii (1985) estudando feijão e milho doce e EL-KHERBAWY & SANDERS (1984) trabalhando com trevo igualmente não observaram efeito de calagem sobre os teores de cobre das diversas plantas citadas, sugerindo que a concentração de cobre na solução, permanece constante mesmo com alteração de pH. Um efeito mais consistente foi observado no trabalho desenvolvido por SMITH (1984), onde a adição de três tipos de calcários provocou um aumento do conteúdo de cobre nas folhas, tal fato sendo também observado por LUTZ et alii (1972), o qual constatou que com aumento de pH, todas as variedades de milho testadas tendem a aumentar a absorção de cobre.

Estudando variedades de milho LUTZ et alii (1972), AMBAK et alii (1991), MARTINI & MUTTERS (1985) não constataram alterações nos níveis de ferro nas plantas provocados por aumentos de pH. Já JARIEL et alii (1991) observaram quedas drásticas na concentração de ferro em plantas de milho cultivadas em solução nutritiva, quando o pH da mesma variou 5,5 a 6,5; e este grande decréscimo encontrava-se associada ao aparecimento de clorose internerval observada nas folhas mais novas. Por outro lado QUAGGIO et alii (1985) trabalhando com doses crescentes de calcário dolomítico verificou aumentos na concentração de ferro de plantas de feijão e

manutenção dos teores do elemento na planta de milho doce. Da mesma forma, MENGEL & KIRKBY (1987) observaram que videiras cultivadas em solos calcariado apresentaram maiores teores de ferro em suas folhas do que aquelas cultivadas em solos sem calcário, sendo que mesmo assim, ainda persistia o sintoma de clorose das folhas provocado por deficiência de ferro, indicando que embora o elemento tenha sido absorvido em maiores quantidades, este não encontra-se ativo na fisiologia da planta.

Estudando o efeito do pH sobre as características e concentração de nutrientes de variedades de milho e para isto valendo-se de solução nutritiva, JARIEL et alii (1991) observaram que o maior peso da parte aérea para todos os genótipos estudados foi encontrado entre pH 4,0 e 5,5. Neste mesmo experimento o aumento de pH provocou um aumento na concentração manganês e zinco na planta, sendo que a concentração de manganês variou de 18 µg/g a pH 3,3 até 265 µg/g a pH 6,7 e os teores de zinco na planta, sujeitos ao mesmo intervalo de pH, variaram de 40 µg/g a 140 µg/g.

3 MATERIAL E MÉTODOS.

3.1 DESCRIÇÃO DO SOLO UTILIZADO.

Toda a parte experimental do trabalho foi conduzida em casa de vegetação, em CAMBISSOLO ÁLICO Tb, A proeminente, textura arenosa, fase campo sub-tropical, relevo suave ondulado substrato folhelhos sílticos-arenosos componente da unidade de mapeamento PVa 23, EMBRAPA (1984). Coletou-se aproximadamente 600 Kg da camada superficial (0-20 cm) em uma área composta por pastagens nativas, localizada no município de Palmeira-PR, na estrada de São Mateus do Sul a 2 Km do trevo de Palmeira-PR. O solo foi peneirado para eliminação de torrões, pedras e resíduos vegetais.

As características químicas originais e textural do solo utilizado encontram-se na TABELA 02 e TABELA 03, respectivamente.

TABELA 02: CARACTERÍSTICAS QUÍMICAS DO SOLO UTILIZADO. UFPR, CURITIBA-PR, 1993.

pH	MACRONUTRIENTE								MICRONUTRIENTES			
	H+Al	Al ³⁺	Ca	Mg	K	C	P	SO ₄	DIPA-TEA			
									Cu	Fe	Mn	Zn
			meq/100g			%		mg/kg			mg/kg	
4,70	3,30	0,30	1,35	1,10	0,13	2,2	2	13,1	0,74	32,7	38,6	0,42

TABELA 03: CARACTERÍSTICA TEXTURAL DO SOLO UTILIZADO (%) UFPR, CURITIBA-PR, 1993.

Areia fina	Areia grossa	Areia	Silte	Argila
33,2	32,0	65,2	14,8	20,0

3.2 DESCRIÇÃO DOS EXPERIMENTOS.

Com o intuito de monitorar a disponibilidade do enxofre no solo na forma de sulfato bem como sua absorção e de cobre, ferro, manganês e zinco pela planta de milho, montaram-se dois experimentos, em casa de vegetação do Departamento de Solos do Setor de Ciências Agrárias da Universidade Federal do Paraná, em Curitiba.

Os experimentos foram realizados em delineamento inteiramente casualizado, com quatro repetições. Os tratamentos foram arranjos em esquema fatorial 2x5 sendo 2 materiais corretivos da acidez e 5 níveis de calagem em toneladas equivalente de CaCO_3 / ha.

O calcário comercial utilizado é dolomítico, de natureza metamórfica, proveniente do município de Almirante Tamandaré-PR, e o calcário Irati proveniente do Município de São Mateus do Sul-PR, é de natureza sedimentar, e deriva da unidade de interlaminações de margas e folhelhos pirobetuminosos com predomínio de margas na camada intermediária.

O experimento número 1 foi realizado em frascos com 500 g de solo e o experimento 2 foi desenvolvido em vasos contendo cada um 6.500 g de solo. Cada experimento recebeu como tratamento a combinação de dois fatores: fator a: material de calagem - calcário comercial e calcário Irati sendo o PRNT destes de 104 e 63 % respectivamente e fator b: doses crescentes em equivalentes toneladas de CaCO_3 por hectare: 0,0; 0,75; 1,5; 3,0 e 6,0 t/ha. Estas doses foram estabelecidas com a intenção de atingir um pH de aproximadamente 5,8 em CaCl_2 com a maior dose (6,0 t equiv. de CaCO_3 /ha) de calcário Irati, conforme trabalho realizado por TESSARO et alii (1993). As quantidades de corretivos utilizadas nos dois experimentos para corresponder a tonelage por hectare equivalente em CaCO_3 , encontram-se na TABELA 04.

TABELA 04: QUANTIDADE DE CORRETIVO UTILIZADA EM GRAMAS NOS FRASCOS (500 g) E NOS VASOS (6.500 g) PARA PROCEDER A EQUIVALÊNCIA DOS CORRETIVOS EM TONELADAS POR HECTARE DE CaCO_3 . UFPR, CURITIBA-PR, 1993.

Tonelada em equivalente CaCO_3	FRASCOS (500 g de solo)		VASOS (6.500 g de solo)	
	CALCÁRIO COMERCIAL	CALCÁRIO IRATI	CALCÁRIO COMERCIAL	CALCÁRIO IRATI
0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
0,75	0,18	0,30	2,33	3,87
1,50	0,36	0,60	4,67	7,74
3,00	0,72	1,19	9,33	15,48
6,00	1,44	2,38	18,66	30,95

3.2.1 Experimento em frascos, monitoramento do sulfato no solo.

Em frascos fechados foram incubados 500 g de solo. Após a adição dos materiais corretivos, elevou-se o solo à capacidade de campo e a troca gasosa foi feita através de aberturas frequentes dos referidos frascos. Aos dias 1, 5, 15, 60, 90 e 280 de incubação foram retirados 25 g de solo de cada frasco, nos quais procedeu-se a determinação de pH e enxofre na forma de sulfato.

3.2.2 Experimento em vasos, cultivo de plantas de milho.

Este experimento foi desenvolvido em vasos, cada um contendo 6.500 g do mesmo solo, o qual, já recebera, no dia 17 de julho de 1992, os tratamentos descritos na TABELA 04 e mantido com teor de umidade adequado para que se efetivassem as reações químicas. Foi utilizado como planta teste o milho (*Zea mays* L.), híbrido AG 612 e por ter ocorrido danos imprevistos no primeiro cultivo, duas semeaduras de milho foram efetuadas; a primeira no dia 25 de setembro de 1992 e a colheita em 04 de dezembro de 1992; a segunda semeadura foi efetuada em 16 de janeiro de 1993 e a colheita em 27 de março de 1993, estando nesta data, o milho, no estágio 5 (cinco) de

desenvolvimento. Após o primeiro plantio, procedeu-se a homogeneização das repetições por tratamento, sendo que as características de teores de micronutrientes catiônico e de sulfato no solo, prévias ao segundo plantio constam da TABELA 05. Observa-se na lacuna referente ao teor de ferro no solo que recebeu o tratamento de 0,75 t/ha de calcário comercial o valor de 132,6 µg/g, valor este, que se encontra destoante dos demais, provavelmente devido contaminação e como a amostragem foi realizada, apenas com o objetivo de caracterização do solo, não foram feitas repetições da mesma.

TABELA 05: CARCTERÍSTICAS QUÍMICAS (MICRONUTRIENTES E SULFATO) EM µg/g DE SOLO, POSTERIORES AO PRIMEIRO PLANTIO DE MILHO.UFPR, CURITIBA-PR, 1993.

TRATAMENTO	COBRE	FERRO	MANGANÊS	ZINCO	SULFATO
	DTPA-TEA				Ca(H ₂ PO ₄) ₂
Comerc. 0,00 t	0,98	40,4	33,6	0,50	11,0
Comerc. 0,75 t	0,70	132,6	25,2	0,48	11,8
Comerc. 1,50 t	0,70	26,8	15,2	0,40	11,3
Comerc. 3,00 t	0,56	18,6	10,0	0,34	12,5
Comerc. 6,00 t	0,92	11,6	6,0	0,34	16,2
Iratí 0,00 t	1,06	36,4	30,4	0,50	12,7
Iratí 0,75 t	1,38	34,6	23,6	0,46	13,2
Iratí 1,50 t	1,16	36,0	18,0	0,46	16,2
Iratí 3,00 t	0,94	23,6	12,8	0,38	25,8
Iratí 6,00 t	0,74	15,8	9,2	0,34	48,0

A adubação de base aplicada antes do primeiro e segundo plantio, conforme as Recomendações de Adubação e Calagem para os Estados do Rio Grande do Sul e Santa Catarina da COMISSÃO DE FERTILIDADE DO SOLO - RS/SC (1989), encontra-se descrita na TABELA 06 e além desta aplicou-se nitrogênio na forma de uréia, aos 15, 30 e 45 dias após a emergência (DAE), utilizando-se 40 µg de nitrogênio por grama de solo em cada aplicação no primeiro plantio. E já no segundo plantio aplicou-se 80 µg de N na forma de uréia por grama de solo, aos 23 DAE e mais 20 µg/g aos 52 DAE, sendo que nesta mesma data efetuou-se também uma adubação de cobertura de 15 µg de K₂O na forma de Cloreto de Potássio por grama de solo.

TABELA 06: ADUBAÇÃO DE BASE EM $\mu\text{g/g}$ EFETUADA PARA O PLANTIO DE MILHO. UFPR, CURITIBA-PR, 1993.

ELEMENTO	FORMA	ADUBAÇÃO DE BASE ($\mu\text{g/g}$)
NITROGÊNIO	Uréia	60
FÓSFORO	Superfosfato triplo	133
POTÁSSIO	Cloreto de potássio	133

Semearam-se nove sementes por vaso e aos oito DAE, praticou-se o desbaste deixando três plantas por vaso, as quais permaneceram até o dia do corte. Os vasos foram irrigados diariamente com água deionizada de acordo com a necessidade das plantas. Executaram-se mondas com a finalidade de manter o milho limpo da concorrência de outras espécies vegetais. Foi procedida também a catação manual de pragas.

No momento da colheita do material, efetuaram-se as seguintes medidas: Altura medida a partir do colo da planta até a dobra mais alta da última folha e onde considera-se do ponto de corte até a folha mais longa esticada, diâmetro do colmo a 10 cm do solo, com uso de paquímetro, massa verde e massa seca a 70° C. As plantas foram cortadas a um centímetro do solo.

3.3 METODOLOGIA DE ANÁLISE.

3.3.1 Metodologia de análise de solo.

O pH do solo foi determinado em solução de CaCl_2 0,01 M, na relação 1:2,5. Para maior precisão de determinação usou-se o método do Acetato de Cálcio a pH 7,0 como extrator de H^+ + Al em uma relação 1:20 e a determinação feita por titulação com NaOH 0,025 N utilizando fenolftaleína como indicador. Já o cálcio, magnésio e alumínio foram extraídos com solução de KCl 1 N, sendo o cálcio e o cálcio mais magnésio determinados por compleximetria utilizando-se titulação com EDTA 0,0125 M, tendo como indicadores, Negro de Eriocromo e Calcon respectivamente. O alumínio foi obtido por titulação com NaOH 0,025 N e tendo como indicador o Azul de Bromotimol 0,1 %.

A extração de fósforo e potássio foi feita pela solução de Mehlich 1 ($\text{HCl } 0,05 \text{ N} + \text{H}_2\text{SO}_4 \text{ } 0,025 \text{ N}$), na relação 1:10, sendo o potássio determinado no fotômetro de chama e o fósforo pelo método colorimétrico com emprego do molibdato de amônio.

O carbono orgânico foi determinado pelo método colorimétrico com oxidação pelo dicromato de sódio.

A análise do sulfato foi realizada no Laboratório de Solos da Universidade Federal do Rio Grande do Sul, utilizando como extrator o fosfato monocálcico e determinado pelo método da turbidimetria (TEDESCO et alii, 1985).

Para extração dos micronutrientes utilizou-se o DTPA-TEA (ácido dietileno-triaminopentacético em trietanolamina), e foram determinados em aparelho de absorção atômica, conforme LINDSAY & NORVELL (1978)

A análise granulométrica foi realizada segundo VETTORI (1969).

Com exceção da análise de sulfato, todas as outras análises foram efetuadas nos laboratórios do Departamento de Solos da Universidade Federal do Paraná.

3.3.2 Metodologia de análise de plantas.

O material coletado foi lavado três vezes em água deionizada e secado em estufa a 70°C , posteriormente moído e ressecado a 70°C . Em seguida foram realizadas as análises segundo HILDEBRAND (1977)

a) Cobre, ferro, manganês e zinco: digestão via seca, inceneração a 500°C , solubilização em HCl a 10%, filtragem, sendo estes elementos determinados via absorção atômica.

b) Nitrogênio total: digestão sulfúrica (método Kjeldahl, conforme descrito por HILDEBRAND (1977), sendo determinado por titulação com $\text{NaOH } 0,02 \text{ N}$.

c) Enxofre total: digestão com $\text{HNO}_3\text{-HClO}_4$, determinação pelo fotômetro na faixa 440 nm (TEDESCO et alii, 1985).

3.3.3 Metodologia de análise estatística.

A análise estatística assumiu o modelo para delineamento inteiramente casualizado com tratamentos dispostos em esquema fatorial para descrever os dados de cada uma das variáveis:

$$y_{ijk} = \mu + \tau_i + \gamma_j + (\tau\lambda)_{ij} + \varepsilon_{ijk} \text{ onde:}$$

y_{ijk} é cada observação

μ é a média geral

τ_i é o efeito de material

γ_j é o efeito da dose

$(\tau\lambda)_{ij}$ é o efeito da interação

ε_{ijk} é o erro experimental

Foi feita uma análise de resíduos e o teste de Bartlett foi utilizado para verificar a homogeneidade de variâncias. Utilizou-se a análise de variância para avaliar o modelo. Os materiais foram comparados pelo teste F e Tukey quando necessário e foram ajustadas regressões polinomiais para descrever a resposta das variáveis às doses de corretivo.

Quando a interação era significativa, foi analisado o comportamento das doses crescentes para cada material individualmente e posteriormente, o comportamento dos materiais dentro de cada dose, sendo que nesta situação cada ponto representa uma média de quatro repetições. Quando a interação não era significativa, os fatores foram analisados separadamente. Para o fator qualitativo (material), cada média foi composta por vinte valores. Quando o fator quantitativo (doses) era significativo, a análise foi realizada por regressões polinomiais sendo que cada ponto representa uma média de oito valores.

As análises estatísticas foram efetuadas no Laboratório de Estatística da Universidade Federal do Paraná utilizando os programas computacionais SANEST e STATGRAPHICS.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO.

Para facilitar o entendimento este capítulo será dividido em duas partes: a primeira discutirá os resultados relativos aos parâmetros de solo: pH, sulfato, cobre, ferro, manganês e zinco no solo e a segunda parte será referente às variáveis estudadas na planta de milho: massa seca, massa verde, altura, distância entrenó, diâmetro do colmo, enxofre total, nitrogênio total, cobre, ferro, manganês e zinco.

4.1 SULFATO, pH, COBRE, FERRO, MANGANÊS E ZINCO NO SOLO.

4.1.1 Sulfato no solo.

Com a intenção de monitorar a capacidade de fornecimento de enxofre disponível dos dois corretivos para o solo ou possível liberação do mesmo provocada pelo aumento de pH; previamente instalou-se um experimento em frascos com duração de 280 dias. As análises de variâncias constantes dos ANEXO 01, apontam em todos os dias de incubação (01, 05, 15, 60, 90 e 280), a ocorrência de interação altamente significativa entre material e doses aplicadas quando analisado o teor de sulfato extraído do solo via fosfato monocálcico.

A FIGURA 01 representa a variação dos teores de sulfato no solo para cada dia de incubação; onde, nos gráficos encontram-se as regressões polinomiais específicas para cada material, bem como as médias reais obtidas. No ANEXO 02 estão as equações polinomiais e seus respectivos coeficiente de determinação referentes aos gráficos da FIGURA 01.

Fica evidenciado que o aumento de pH, provocado pela calagem, quando utilizado o calcário comercial, teve pouco efeito sob a variabilidade dos teores de sulfato no solo, sendo que o nível máximo atingido foi de 18,58 $\mu\text{g/g}$. Tal fato pode indicar a existência de pequena quantia de

sulfato adsorvido neste solo, pois segundo KAMPRATH et alii (1956), ELKINS & ENSMINGER (1971), COUTO et alii (1979) e MARTINI & MUTTERS (1984) aumentos de pH diminuem a capacidade de adsorção dos solos e quando estes atingem um pH de aproximadamente 6,0; pouco sulfato estaria ligado à superfície do colóide, sendo esta situação geralmente atribuída a competição entre OH^- e SO_4^{2-} pelos sítios de adsorção dos óxidos hidróxidos de Al e Fe (HINGSTON et alii, 1972). Portanto, os aumentos dos teores de sulfato no solo que recebeu calcário Irati teriam poucas possibilidades de serem causados pela diminuição do sulfato adsorvido.

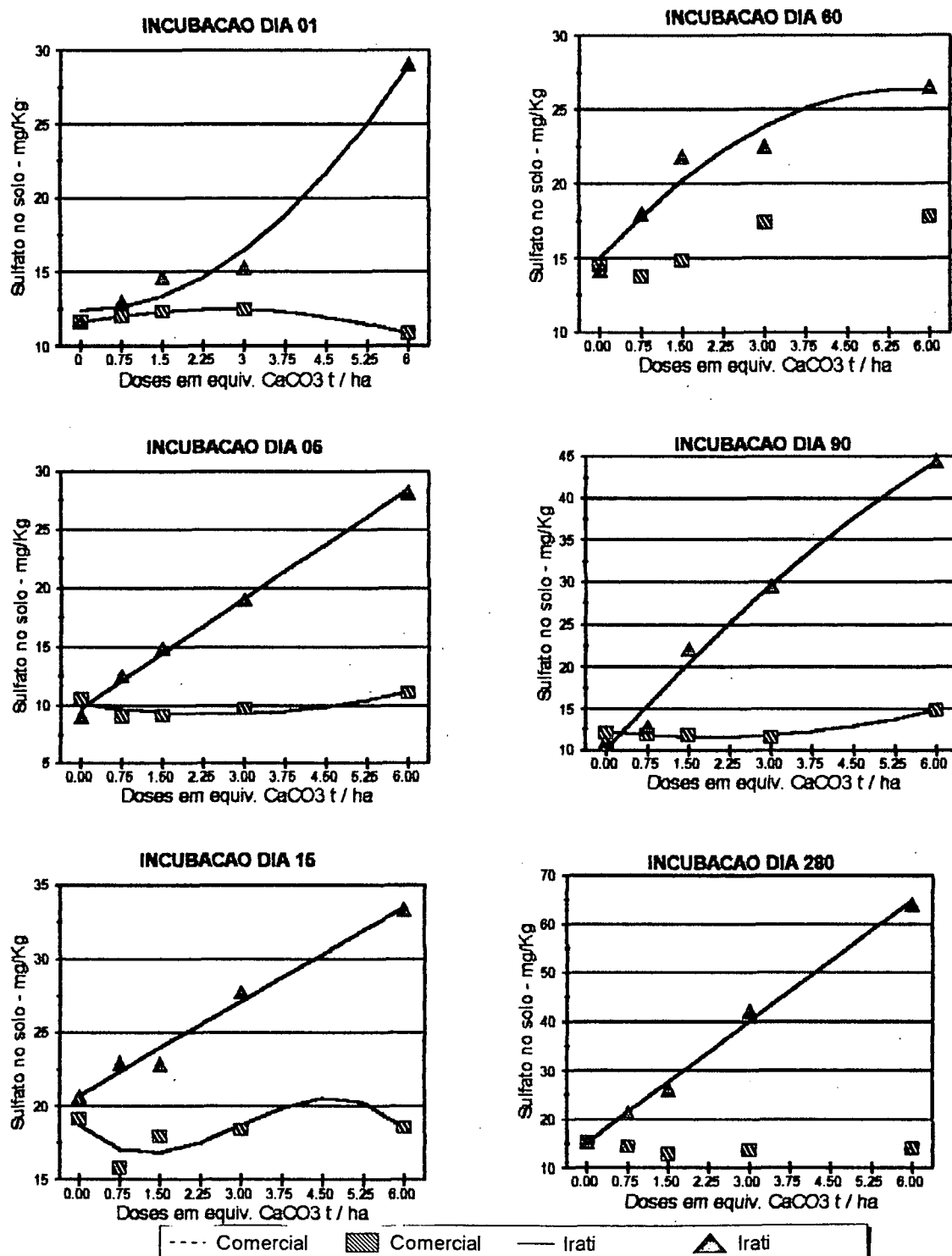


FIGURA 01: TEORES MÉDIOS DE SULFATO NO SOLO QUE RECEBEU COMO TRATAMENTO DOSES CRESCENTES DE CALCÁRIO COMERCIAL E CALCÁRIO IRATI, EM t/ha DE EQUIVALENTES DE CaCO_3 , PARA OS DIAS 01, 05, 15, 60, 90 E 280 DE INCUBAÇÃO. UFPR, CURITIBA-PR, 1993.

Por outro lado, no caso do calcário Irati, as doses crescentes provocaram aumentos dos teores de sulfato no solo, conforme constatado através da análise dos gráficos constantes da FIGURA 01 e do ANEXO 03. Nota-se claramente a superioridade em quase todas as doses do calcário Irati em relação ao calcário comercial; sendo esta diferença altamente significativa pelo Teste Tukey, indicando que parte do enxofre contido no calcário Irati encontra-se prontamente disponível às plantas constituindo-se em importante fonte desse elemento, confirmando, assim, a hipótese levantada anteriormente por DOS ANJOS (1991) que constatou a grande diferença dos teores de enxofre total nos dois materiais corretivos.

Constata-se também, quando utilizado o calcário Irati, um aumento da quantidade de enxofre disponível a medida que se processa a incubação; uma vez que no período de incubação de 280 dias, tem-se uma disponibilidade de aproximadamente 65 $\mu\text{g/g}$ de sulfato na dose de 6 t/ha, contra uma disponibilidade de 29 $\mu\text{g/g}$ de sulfato no dia 01 de incubação a esta mesma dose.

Tendo como base as tendências observadas no experimento de incubação passa-se a análise dos teores de sulfato no solo do experimento que recebeu o plantio de milho; neste as variações de sulfato no solo foram semelhantes às descritas anteriormente, sendo que análise de variância dos resultados encontram-se no ANEXO 04, onde verifica-se que a interação entre doses e material corretivo apresenta-se altamente significativa. Na FIGURA 02 constata-se que o aumento das doses de calcário comercial praticamente não alteraram os teores do sulfato do solo enquanto que aumentos nos níveis do calcário Irati provocaram aumentos de disponibilidade de enxofre.

A análise dos materiais dentro de cada dose conforme TABELA 07 mostra uma diferença significativa, quanto ao fornecimento de sulfato pelos distintos materiais corretivos nas doses de 1,50; 3,00 e 6,00 t/ha, sendo que nas duas últimas o calcário Irati forneceu aproximadamente duas vezes mais sulfato ao solo que o calcário comercial, fato este que só pode ser explicado pelos maiores teores totais de enxofre, daquele corretivo. É também observado na referida tabela, que as

testemunhas, apresentam diferenças significativas entre si, fato este, possivelmente, explicado pela não casualização das amostras.

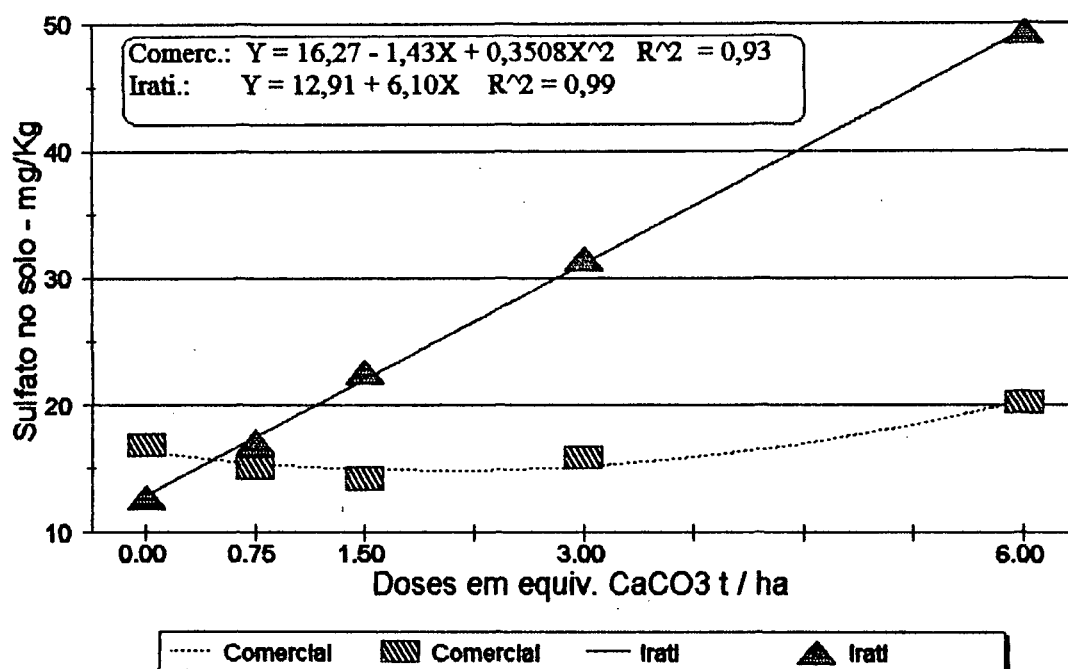


FIGURA 02: TEORES MÉDIOS DE SULFATO NO SOLO QUE RECEBEU COMO TRATAMENTO DOSES CRESCENTES DE CALCÁRIO COMERCIAL E CALCÁRIO IRATI EM t/ha DE EQUIVALENTES DE CaCO_3 , APÓS O SEGUNDO CULTIVO DE MILHO. UFPR, CURITIBA-PR, 1993.

Em todos os tratamentos o solo encontra-se com teores de sulfato acima de $10 \mu\text{g/g}$, nível considerado crítico para a cultura do milho, conforme FOX et alii (1964), PALASKAR & GHOSH (1985) e KLIEMANN (1987) indicando desta forma que não seria esperada uma resposta à aplicação de sulfato. Em experimento feito por PALASKAR & GHOSH (1985), 64% dos solos que encontravam-se com teores de sulfato acima do indicado, não apresentaram resposta à aplicação de enxofre quando analisado a produção de massa seca da planta de milho.

TABELA 07: VALORES DE SULFATO E pH DO SOLO QUE RECEBEU COMO TRATAMENTO DOSES CRESCENTES DE CALCÁRIO COMERCIAL E CALCÁRIO IRATI AMOSTRADO APÓS O SEGUNDO CULTIVO DE MILHO. MÉDIA DE QUATRO REPETIÇÕES. UFPR, CURITIBA-PR, 1993.

MAT.		DOSES t/ha equiv. de CaCO ₃									
		0,00		0,75		1,50		3,00		6,00	
SULFATO	Irati	12,7	b B	17,0	a A	22,6	a A	31,6	a A	49,2	a A
	Com.	16,8	a A	15,0	a A	14,2	b B	15,9	b B	20,2	b B
pH	Com.	4.50	a A	4.68	a A	4.88	a A	5.29	a A	6.05	a A
	Irati	4.53	a A	4.60	b B	4.77	b B	5.18	b B	5.75	b B

a , b Valores seguidos por letras distintas diferem entre si ao nível de 5% de probabilidade

A , B Valores seguidos por letras distintas diferem entre si ao nível de 1% de probabilidade

4.1.2 pH do solo.

A análise de variância referente aos resultados obtidos de pH do solo, cultivado com milho, encontram-se no ANEXO 04. Visualiza-se na FIGURA 03, conforme o esperado, a ocorrência de incrementos nos valores de pH provocados pelo aumento de doses de calagem. Sendo que na dose mais elevada de calagem o solo encontra-se com um saturação de bases de aproximadamente 91% e 88%, respectivamente quando utilizado o calcário comercial e calcário Irati, valores estes bem acima de 60%, o qual é recomendado como porcentagem de saturação de base ideal para a cultura do milho (RAIJ et alii, 1983 e QUAGGIO et alii, 1983). Sendo que aproximadamente, esta saturação foi atingida entre a dose de 1,5 a 3 toneladas equivalentes de CaCO₃/ha

Quando se avalia a diferença dos dois materiais dentro de cada dose, através do Teste Tukey, constante na TABELA 07, observa-se que a partir da dose de 0,75 t/ha os materiais começaram a apresentar uma diferença altamente significativa, indicando superioridade do calcário comercial, fato já constatado, anteriormente por DOS ANJOS (1991).

No entanto, analisando as doses de 0,75; 1,50 e 3,00 t/ha, verifica-se que a diferença existente entre os dois materiais é de 0,08; 0,11 e 0,12 unidade de pH respectivamente, diferenças as quais, não teriam grande influência na prática sobre a fertilidade do solo. O fato do DMS

(Diferença mínima significativa) da análise estatística apresentar-se tão baixo, deve-se principalmente ao coeficiente de variação destes dados ser pequeno (0,537%), acarretando, assim, que diferenças ínfimas entre tratamentos tornem-se significativas.

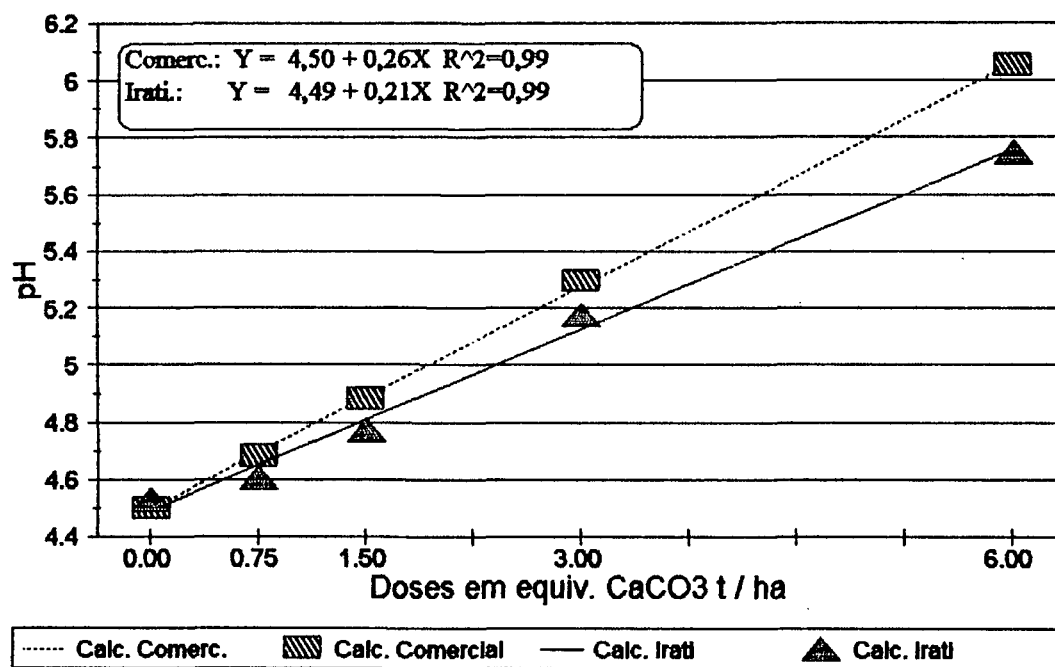


FIGURA 03: POTENCIAL HIDROGÊNIO IÔNICO MÉDIO DO SOLO QUE RECEBEU COMO TRATAMENTO DOSES CRESCENTES DE CALCÁRIO COMERCIAL E CALCÁRIO IRATI EM t/ha DE EQUIVALENTES DE CaCO₃ APÓS O SEGUNDO CULTIVO DE MILHO. UFPR, CURITIBA-PR, 1993.

4.1.3 Efeito dos corretivos sobre os teores de cobre, ferro, manganês e zinco no solo extraído com DTPA-TEA.

O calcário Irati apresenta em sua composição teores totais de de cobre, ferro, manganês e zinco mais elevados do que o calcário comercial (TABELA 01). No entanto, nem sempre teores totais de elementos são indícios de disponibilidade, uma vez que, em tais determinações, formas insolúveis podem estar incluídas.

Para extração dos micronutrientes catiônicos no solo, optou-se pelo DTPA-TEA, que segundo LINDSAY & NORVELL (1978); BATAGLIA & VAN RAIJ (1989), CAMARGO et alii (1982) e DA CRUZ & FERREIRA (1990) é eficiente na extração simultânea de cobre, ferro, zinco e manganês.

Analisando os teores de cobre extraídos do solo (ANEXO 04), verifica-se influência apenas do fator material ao nível de 5%, sendo que o solo corrigido com calcário Irati apresentou um valor médio de 0,845 $\mu\text{g/g}$ enquanto que o solo corrigido com calcário comercial apresentou um valor médio de 0,802 $\mu\text{g/g}$. Contudo esta diferença não reflete a magnitude esperada, pois além do calcário Irati apresentar em sua composição 4,5 vezes mais cobre, este foi adicionado 1,7 vezes a mais ao solo devido ao seu menor poder de neutralização. A diferença apontada, embora significativa, tecnicamente não teria grande significado; devido a grande variabilidade dos teores do elemento encontrado nos diversos tipos de solos.

Assim como observado por EL-KHERBAWY & SANDERS (1984) e JAHIRUDIN et alii (1986), doses crescentes de calcário, não tiveram influência sobre os teores de cobre extraídos do solo. O que poderia ser explicado pelo fato do incremento de pH provocar mineralização da matéria orgânica, provocando aumentos de complexos orgânicos de cobre na solução do solo, fazendo com que a concentração do elemento permaneça constante (HODGSON et alii, 1966).

Os teores de cobre no solo apresentam-se acima de 0,5 $\mu\text{g/g}$, nível considerado como crítico, para a cultura do milho segundo LINS & COX (1989).

Para os teores de ferro do solo, houve influência significativa, ao nível de 1%, tanto do fator material, como do fator doses crescentes de calagem, não ocorrendo entretanto, interação entre estes (ANEXO 04).

Embora o calcário Irati, contenha em média, 36 vezes mais, teores de ferro total em sua composição (TABELA 01), tal diferença, assim como no caso do cobre, não reflete-se nos teores do elemento extraídos do solo via DTPA-TEA, uma vez que solos corrigidos com calcário

comercial apresentaram um valor médio de 35,29 $\mu\text{g/g}$ enquanto que solos corrigidos com calcário Irati apresentaram um valor médio de 39,08 $\mu\text{g/g}$, resultando em valores apenas 10% maiores nos solos recebedores de calcário Irati. Esta pequena variação provocada pelo fator material, indica que, grande parte do ferro contido no calcário proveniente de São Mateus do Sul-PR, está retido por forças químicas fortes ou então encontra-se precipitado, o que impede a sua pronta liberação, mesmo quando passados 300 dias de incubação.

Quanto a influência de doses crescentes de calagem sobre os teores de ferro no solo, observa-se na FIGURA 04, que a testemunha, apresenta em média, um teor de 46 μg de ferro por g de solo e que a elevação de doses de calagem, provocou uma redução nos teores de ferro extraídos do solo, alcançando uma média de 22 $\mu\text{g/g}$, na mais alta dose. Tal decréscimo já fora anteriormente observada por GUPTA & SINGH (1990), JAHIRUDIN et alii (1986) e CAMARGO et alii (1982).

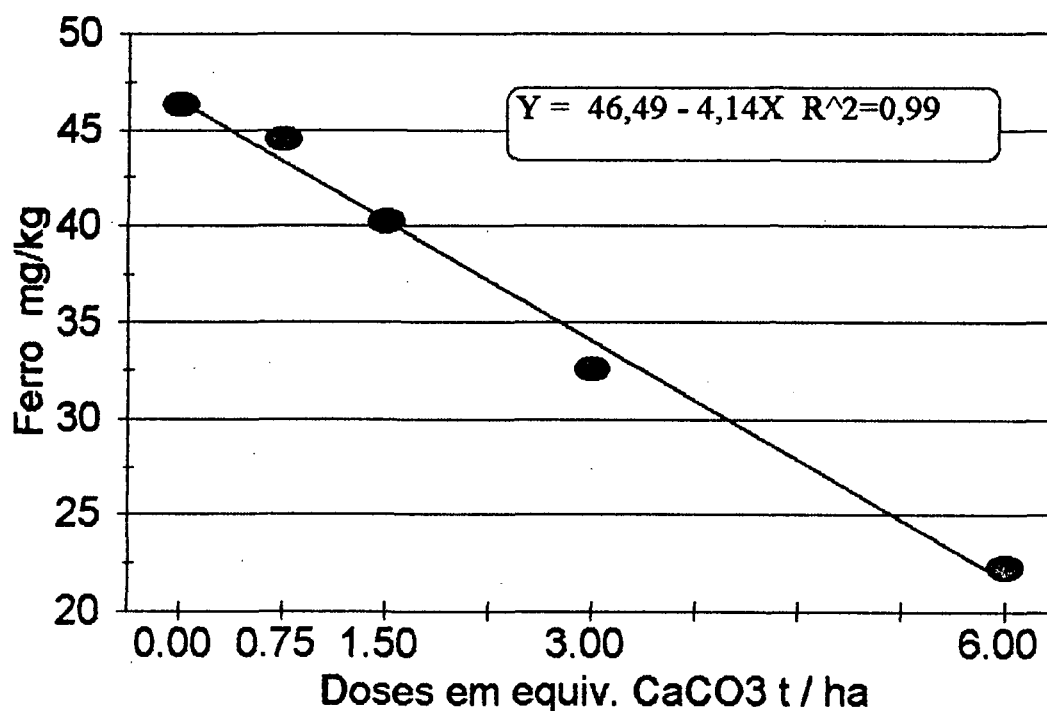


FIGURA 04: EFEITO DE DOSES CRESCENTES DE CALAGEM, SOBRE OS TEORES DE FERRO EM $\mu\text{g/g}$ NO SOLO EXTRAÍDO COM DTPA-TEA, MÉDIA DE OITO REPETIÇÕES. UFPR, CURITIBA-PR, 1993.

Não encontrou-se na literatura, um nível crítico de ferro no solo extraído com DTPA-TEA, contudo LOPES (1984) comenta que o ferro parece encontrar-se em níveis adequados para a maioria das culturas nos solos estudados.

Assim como para o ferro, tanto o fator material como o fator doses crescentes de calagem, tiveram influência altamente significativa sobre os teores de manganês extraídos do solo com DTPA-TEA (ANEXO 04).

Novamente, embora o calcário Irati apresente em sua composição 1084 μg de manganês total por g de corretivo, contra apenas traços do elemento no calcário comercial, foi constatado uma superioridade nos teores de manganês, extraído com DTPA-TEA de apenas 9%, no solo que recebeu como tratamento o calcário Irati, o qual apresentou um valor médio de 16,58 $\mu\text{g/g}$ contra um valor de 15,09 $\mu\text{g/g}$ dos solos corrigidos com calcário comercial. Diferença esta, tecnicamente pouco significativa, uma vez que variação nos teores de ferro no solo é muito grande. Contudo, como o presente trabalho foi conduzido por um tempo relativamente curto (300 dias), por tratar-se de um experimento de calagem; a longo prazo, devido a reações do solo, parte do manganês total contido no calcário Irati, poderá vir a contribuir para suprir necessidades das plantas.

Como esperava-se, doses crescentes de calagem, provocaram uma diminuição nos teores de manganês extraídos do solo, de 21 $\mu\text{g/g}$ a 12 $\mu\text{g/g}$ (FIGURA 05). Tal fato explica-se pela afinidade relativamente baixa do extrator pelo manganês, fazendo com que o aumento de pH, tivesse um efeito marcante sobre a extração do elemento (JAHIRUDDIN et alii, 1986 e EL-KHERBAWY & SANDERS, 1984). O declínio nos teores de Mn extraídos com DTPA-TEA, foi igualmente observado por CAMARGO et alii (1982), o qual encontrou uma correlação de 92% entre os teores deste e diferentes pH de amostras de solos. Não se encontrou em literatura, um nível crítico do elemento no solo extraído com DTPA-TEA, para a cultura do milho.

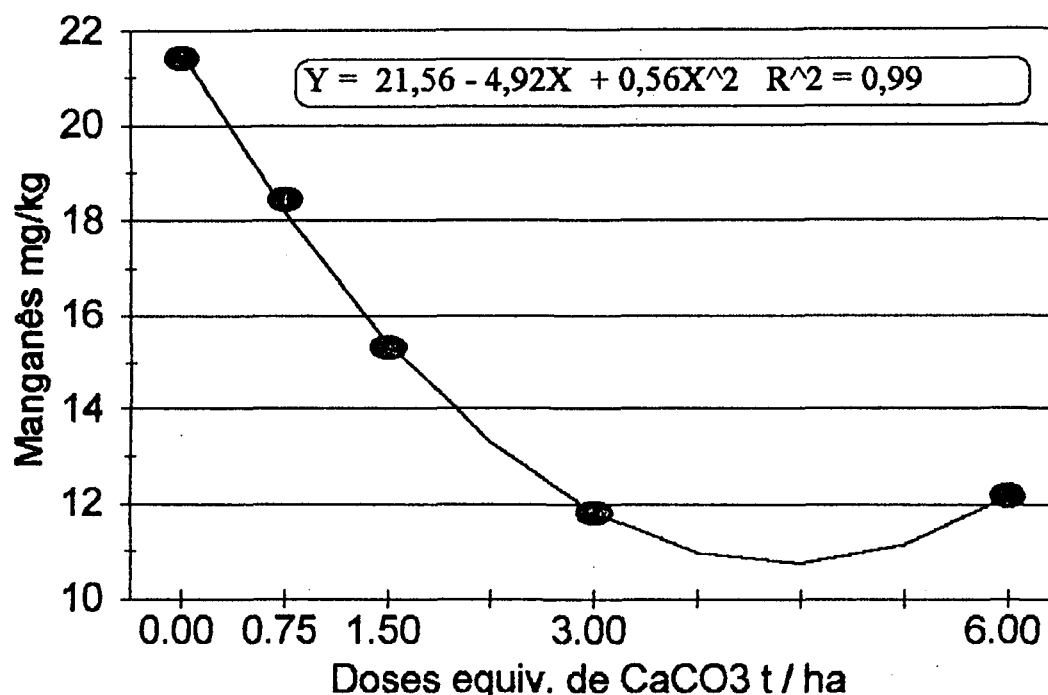


FIGURA 05: EFEITO DE DOSES CRESCENTES DE CALAGEM, SOBRE OS TEORES EM $\mu\text{g/g}$, DE MANGANÊS NO SOLO EXTRAÍDO COM DTPA-TEA, MÉDIA DE OITO REPETIÇÕES. UFPR, CURITIBA-PR, 1993.

Se por um lado, o DTPA-TEA, foi apontado por BATAGLIA & VAN RAIJ (1989); JAHIRUDIN et alii (1986) e EL-KHERBAWY & SANDERS (1984), como um extrator capaz de constatar diminuições dos teores de zinco no solo provocadas pela calagem; no presente experimento não houve influência nem do fator material e tampouco do fator doses sobre o teor do elemento extraído com DTPA-TEA (ANEXO 04). Outros autores também não constatarem a eficiência do extrator (CAMARGO et alii, 1982 e RITCHEY et alii, 1986).

Provavelmente este comportamento adverso do extrator, possa ser justificado pelos teores do elemento no solo. No experimento conduzido por BATAGLIA & VAN RAIJ (1989) observou-se uma variação nos teores de zinco no solo de 0,3 a 4,4 $\mu\text{g/g}$, no trabalho de JAHIRUDDIN et alii (1986) de 0,63 a 2,18 $\mu\text{g/g}$ e em EL-KHERBAWY & SANDERS (1984) de 1,66 a 3,59 $\mu\text{g/g}$ de zinco. Contra um intervalo de 0,2 a 1,0 $\mu\text{g/g}$ no experimento conduzido por RITCHEY et alii (1986) e uma variação de 0,42 a 1,94 $\mu\text{g/g}$ de zinco no presente trabalho (ANEXO 10). E embora,

no trabalho conduzido por CAMARGO et alii (1982) encontraram-se valores zinco no solo, desde 0,3 até 18,2 $\mu\text{g/g}$, os autores comentam que em amostras, cujo o conteúdo de zinco foi baixo ($< 1,0 \mu\text{g/g}$), observa-se um ligeiro incremento no teor de zinco com o aumento de pH para, em seguida, diminuir novamente.

Tais constatações indicam que o DTPA-TEA, seria ineficiente, para avaliação dos teores de zinco em solos que possuem um nível inferior a $1 \mu\text{g/g}$ de zinco e foram calcariados.

A análise inicial do solo do experimento (TABELA 02) mostra um teor de $0,42 \mu\text{g/g}$ de zinco extraído do solo pelo DTPA-TEA, valor este abaixo dos níveis considerados como críticos por RITCHEY et alii (1986), THIND et alii (1990) e LINDSAY & NORVEL (1978).

Do exposto anteriormente, conclui-se que embora variações nos teores de zinco provocadas pela calagem não tenham sido detectadas pelo extrator complexante é provável que na mais alta dose de calagem neste experimento, o solo esteja com baixa disponibilidade de zinco.

4.2 RESPOSTA DA PLANTA EM RELAÇÃO A APLICAÇÃO DE DOSES CRESCENTES DOS MATERIAIS CORRETIVOS

4.2.1 Produção de massa seca, massa verde e diâmetro do colmo da planta de milho.

No que diz respeito a análise de variância dos dados de massa seca apresentados no ANEXO 05, constata-se influência significativa da interação material x doses crescentes de calagem sobre a produção de massa seca.

Conforme descrito em literatura (PRASAD et alii, 1983; DATTA et alii, 1983; QUAGGIO et alii, 1985; NUWAMANYA, 1984; MAKAYA, 1988 e SMITH, 1984) doses crescentes do calcário, provocaram aumentos de produção conforme observado na FIGURA 06, sendo que a

maior produção de massa seca, quando utilizado o calcário comercial foi de 104,9 g na dose de 6 t/ha. Já para o calcário Irati a maior produção foi observada na dose de 3 t/ha (90,63 g).

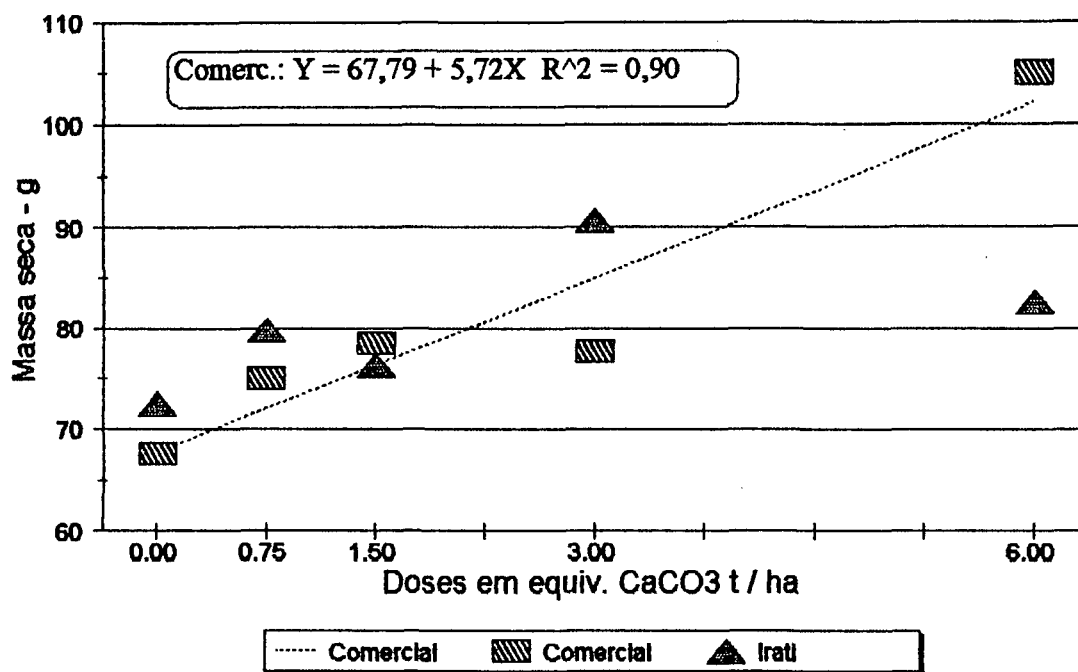


FIGURA 06: EFEITO DE DOSES CRESCENTES DE CALCÁRIO COMERCIAL E CALCÁRIO IRATI, SOBRE A PRODUÇÃO DE MASSA SECA EM GRAMAS DE PLANTA DE MILHO, MÉDIA DE QUATRO REPETIÇÕES CADA UMA DE TRÊS PLANTAS. UFPR, CURITIBA-PR, 1993.

Ambos os materiais corretivos tiveram igual influência sobre a produção de massa seca até a dose de 3 t/ha, conforme Teste Tukey, contante da TABELA 08. Dose, na qual, tanto o pH em CaCl_2 , como a porcentagem de saturação de bases encontram-se mais próximos aos valores considerados adequados para obtenção de produções máximas. (AMBAK et alii, 1991; NUWAMANYA, 1984; QUAGGIO et alii, 1983 e RAIJ et alii 1983).

Embora, na dose de 6 t/ha, tenha sido observado que plantas cultivadas sobre o calcário comercial apresentavam um maior rendimento de massa, isto, necessariamente não significa que estas plantas seriam responsáveis pelas maiores produções de grãos, pois em alguns casos, a deficiência de certos elementos, principalmente micronutrientes, provoca distúrbios na fase

reprodutiva das plantas e pouco afeta a fase vegetativa. Seria necessária a observação em conjunto de outros parâmetros para um melhor prognóstico da situação.

TABELA 08: VALORES MÉDIOS DE MASSA SECA (g), MASSA VERDE (g) E DIÂMETRO DO COLMO (cm) DE PLANTAS DE MILHO CULTIVADAS NO SOLO QUE RECEBEU COMO TRATAMENTO DOSES CRESCENTES DE CALCÁRIO COMERCIAL E CALCÁRIO IRATI AMOSTRADO APÓS O SEGUNDO CULTIVO DE MILHO. MÉDIA DE QUATRO REPETIÇÕES. UFPR, CURITIBA-PR, 1993.

MAT.		DOSES t/ha equiv. de CaCO ₃									
		0,00		0,75		1,50		3,00		6,00	
M.Seca (g)	Com.	67,5	a A	74,9	a A	78,3	a A	77,6	a A	104,9	a A
	Irati.	72,5	a A	79,7	a A	76,3	a A	90,6	a A	82,57	b B
M.Verde (g)	Com.	264	a A	284	a A	267	a A	253	a A	384	a A
	Irati.	266	a A	278	a A	278	a A	305	b B	327	b B
D.Colmo (cm)	Com.	0,99	a A	1,06	a A	1,00	a A	1,02	a A	1,23	a A
	Irati.	0,95	a A	0,98	b A	1,02	a A	1,09	a A	1,07	b B

a, b Valores seguidos por letras distintas diferem entre si ao nível de 5% de probabilidade
A, B Valores seguidos por letras distintas diferem entre si ao nível de 1% de probabilidade

Situação semelhante a acima descrita ocorre quando avaliada a produção de massa verde da planta de milho e conforme o quadro de análise de variância (ANEXO 05) constata-se que a interação material x doses apresenta-se altamente significativa, sendo a relação entre as doses de calcário comercial aplicadas e a produção de massa verde do milho está representada na FIGURA 07, a qual mostra que doses crescentes de calcário Irati refletiram em um aumento linear de produção de massa verde.

Até a dose de 1,5 t equivalentes de CaCO₃/ha, conforme observado na TABELA 08, ambos os calcários comportaram-se de maneira equivalente no que se refere à produção de massa verde, sendo que na dose de 3,0 t equivalentes de CaCO₃/ha as plantas cultivadas sobre o tratamento que recebeu calcário Irati apresentaram uma produção de massa verde, 17% maior do aquelas cultivadas sobre o calcário comercial.

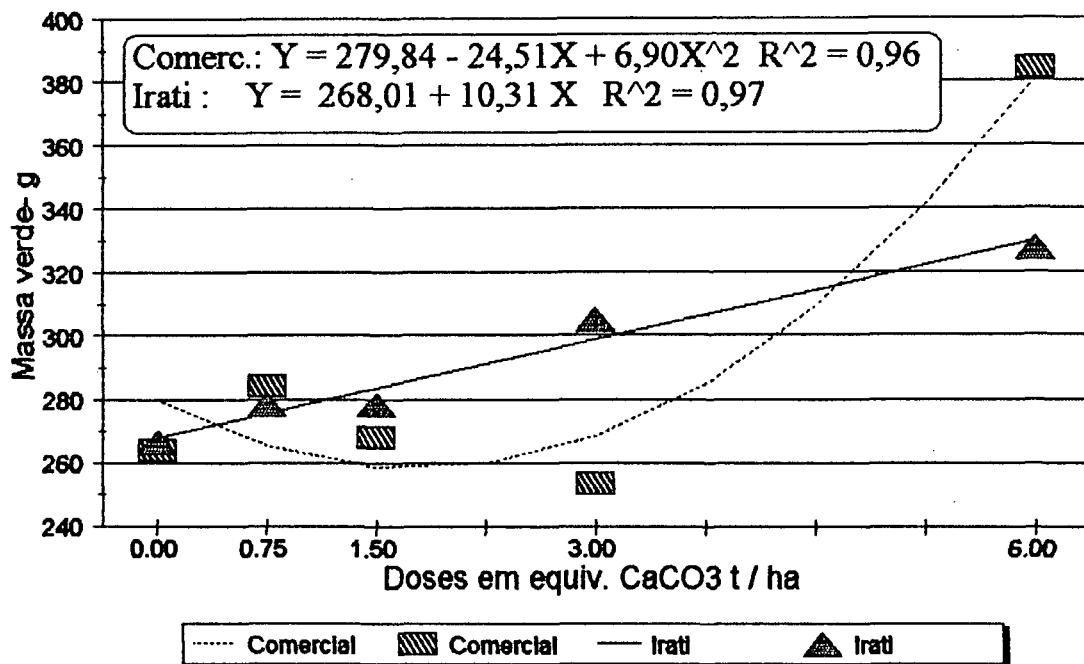


FIGURA 07: EFEITO DE DOSES CRESCENTES DE CALCÁRIO COMERCIAL E CALCÁRIO IRATI, SOBRE A PRODUÇÃO DE MASSA VERDE EM GRAMAS DE PLANTA DE MILHO, MÉDIA DE QUATRO REPETIÇÕES CADA UMA DE TRÊS PLANTAS. UFPR, CURITIBA-PR, 1993.

No ANEXO 05, aparece a análise de variância dos dados referentes ao diâmetro do colmo, observa-se que a interação material X doses foi significativa ao nível de 1%.

Na FIGURA 08 nota-se um efeito diferenciado dos dois materiais corretivos sobre o diâmetro do colmo da planta de milho, sendo que o aumento nas doses aplicadas de calcário comercial, provocou um comportamento ascendente da curva, indicando assim um aumento no diâmetro do colmo. Já quando aplicado, doses crescentes do calcário Irati, não observa-se tal fato, uma vez, que a curva, na dose maior aponta uma tendência de diminuição no diâmetro do colmo.

Para os dados referentes a diâmetro do colmo, observa-se ainda diferença altamente significativa, pelo Teste Tukey, na dose de 6 t/ha, onde plantas cultivadas sobre calcário comercial apresentam diâmetro do colmo 13% maiores do que aquelas cultivadas sobre calcário Irati (TABELA 08).

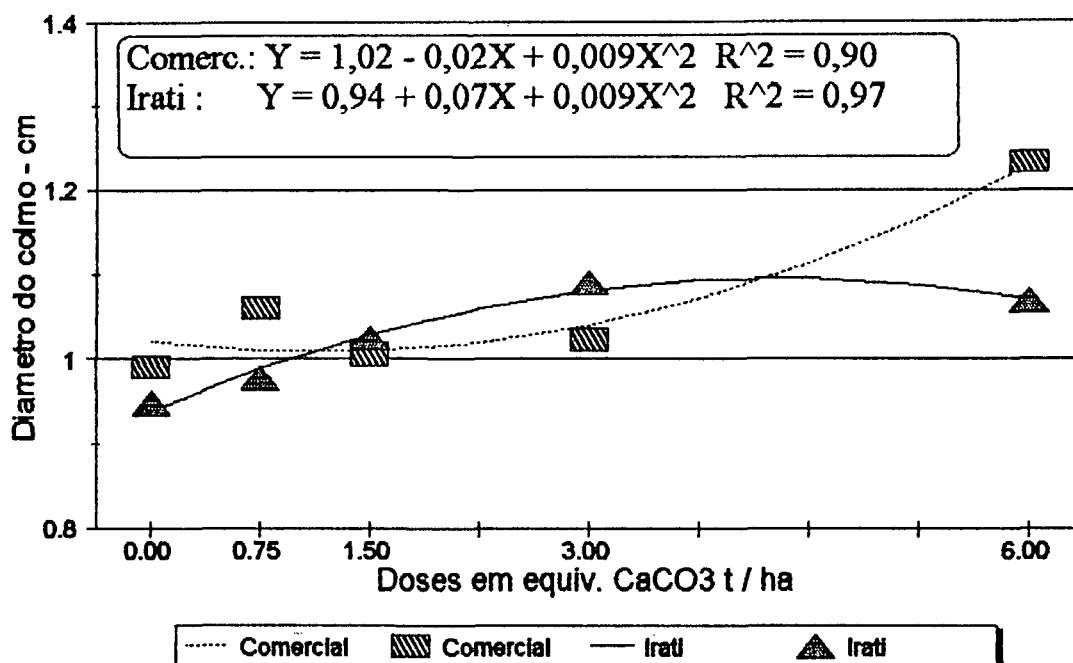


FIGURA 08: EFEITO DE DOSES CRESCENTES DE CALCÁRIO COMERCIAL E CALCÁRIO IRATI, SOBRE DIÂMETRO DO COLMO DA PLANTA DE MILHO EM CENTÍMETROS, MÉDIA DE QUATRO REPETIÇÕES CADA UMA DE TRÊS PLANTAS. UFPR, CURITIBA-PR, 1993

Em literatura, não são encontradas evidências diretas do motivo do engrossamento do colmo do milho, porém tal comportamento, pode ser atribuído a um indício de deficiência de zinco, a qual, está relacionada com diminuição do comprimento dos entrenós (BÜLL & CANTARELLA, 1993; p.128 e MARSCHNER, 1986; p.310), o que poderia acarretar um engrossamento de colmo.

Considerando os parâmetros da planta analisados até o presente, ambos materiais corretivos, na maioria dos casos, comportam-se de maneira semelhante até a dose de 3 t/ha, a qual, mais se aproxima aos valores de pH e saturação de bases recomendados pela literatura para obtenção de maiores produtividades (AMBAK et alii, 1991; NUWAMANYA, 1984; QUAGGIO et alii, 1983 e RAIJ et alii 1983).

4.2.2 Teores de enxofre, cobre, ferro, manganês e zinco da planta de milho.

4.2.2.1 Teor de enxofre total na planta de milho

No ANEXO 06 observa-se influência significativa da interação material x doses sobre os teores de enxofre total na planta. Encontra-se na FIGURA 09 a equação representativa do efeito de doses crescentes de calcário comercial sobre os teores de enxofre total na planta, onde nota-se um aumento nos valores do elemento, atingindo o máximo na dose de 6,0 t/ha. Já para o calcário Irati nenhuma equação significativa foi encontrada para representar a influência do mesmo sobre os teores totais de enxofre, optando-se apenas pela representação das médias reais, onde igualmente a maior concentração ocorre a dose de 6 t/ha.

Este aumento de concentração do elemento na planta, ou de absorção do mesmo, provocado pela maior dose de calagem, já fora anteriormente observado por ELKINS & ENSMINGER (1971); KORENTAJER et alii (1983) e MARTINI & MUTTERS (1984) refletindo assim uma provável modificação da disponibilidade no solo, causada pela calagem (COUTO et alii, 1979; KAMPRATH et alii, 1956; WILLIAMS, 1967 e ELKINS & ENSMINGER, 1971).

Quanto ao comportamento dos materiais dentro de cada dose individualmente, observou-se diferença significativa a nível de 5%, apenas nas doses de 3,00 t/ha onde o calcário Irati apresentou-se superior quanto ao fornecimento de enxofre e já ao nível de 6,00 t/ha, observa-se uma situação inversa a esta (TABELA 09).

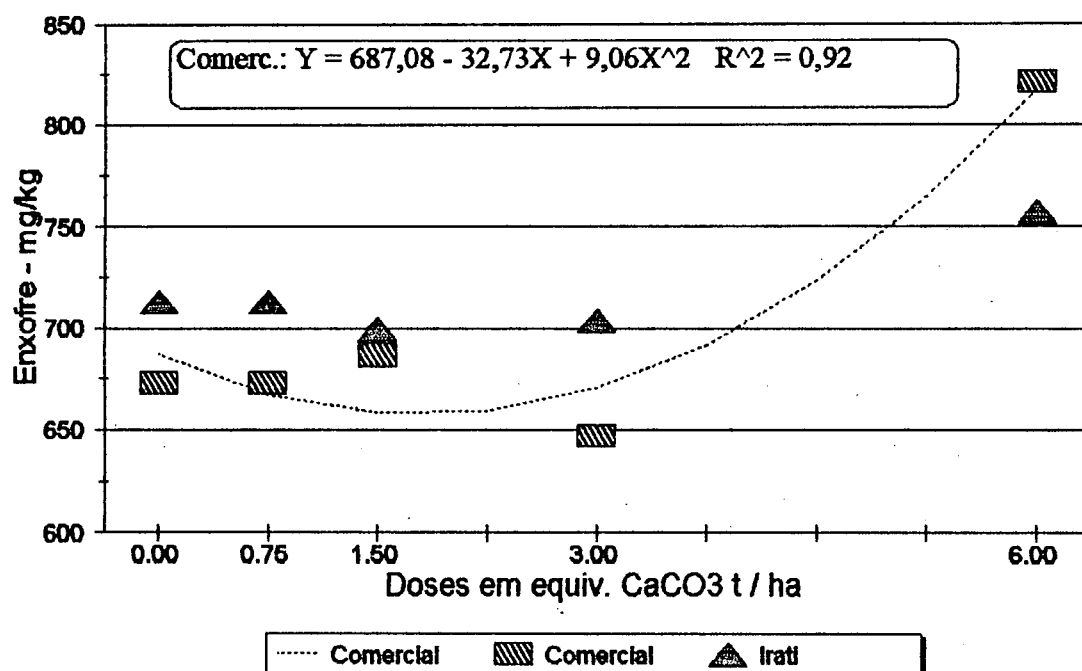


FIGURA 09: EFEITO DE DOSES CRESCENTES DE CALCÁRIO COMERCIAL E CALCÁRIO IRATI, SOBRE O TEOR DE ENXOFRE EM $\mu\text{g/g}$, NA PLANTA DE MILHO, MÉDIA DE QUATRO REPETIÇÕES. UFPR, CURITIBA-PR, 1993.

TABELA 09: VALORES MÉDIOS DE ENXOFRE TOTAL, COBRE, MANGANÊS, ZINCO E RELAÇÃO Fe/Mn DAS PLANTAS DE MILHO CULTIVADAS NO SOLO QUE RECEBEU COMO TRATAMENTO DOSES CRESCENTES DE CALCÁRIO COMERCIAL E CALCÁRIO IRATI AMOSTRADO APÓS O SEGUNDO CULTIVO DE MILHO. MÉDIA DE QUATRO REPETIÇÕES. UFPR, CURITIBA-PR, 1993.

MAT.		DOSES t/ha equiv. de CaCO_3									
		0,00		0,75		1,50		3,00		6,00	
S ($\mu\text{g/g}$)	Irati	712	a A	712	a A	699	a A	703	a A	757	a A
	Com.	673	a A	673	b B	686	a A	647	b A	821	b A
Cu ($\mu\text{g/g}$)	Irati	12	a A	13	a A	12	a A	11	a A	12	a A
	Com.	9	b A	11	b A	12	a A	12	a A	12	a A
Mn ($\mu\text{g/g}$)	Irati	135	b B	88	a A	69	a A	39	a A	30	a A
	Com.	157	a A	86	a A	62	a A	38	a A	20	a A
Zn ($\mu\text{g/g}$)	Irati	17,2	a A	15,6	a A	17,0	a A	16,6	a A	17,3	a A
	Com.	16,2	a A	16,6	a A	18,4	a A	15,8	a A	13,4	b B
Fe/Mn	Com.	0,31	a A	0,54	a A	0,79	a A	1,67	a A	3,38	a A
	Irati	0,38	a A	0,57	a A	0,87	a A	1,37	a A	1,90	b B

a, b Valores seguidos por letras distintas diferem entre si ao nível de 5% de probabilidade
A, B Valores seguidos por letras distintas diferem entre si ao nível de 1% de probabilidade

Como a diferença mais acentuada de pH ocorreu na dose de 6 t/ha (FIGURA 03), provavelmente o efeito disto, seja dominante sobre o efeito de quantidade de sulfato fornecida ao solo, fazendo com que plantas, sujeitas a pH mais elevado, apresentassem uma concentração de enxofre levemente superior (ELKINS & ENSMINGER; 1971 e KORENTAJER et alii, 1983).

Constata-se que em todos os tratamentos os teores de enxofre total na planta encontram-se abaixo daqueles considerados críticos por: FOX et alii (1964), TRANI et alii (1983), VITTI (1988, p27), MALAVOLTA (1980), que citam como nível crítico de enxofre total nas folhas os valores de 0,19%; 0,20%, 0,19% e 0,30%, respectivamente. Todos estes referiram-se a teores foliares, sendo que no presente experimento os valores foram obtidos a partir da moagem da parte aérea de toda planta, incluindo-se colmos, e inflorescências. Para tal caso MARTINI & MUTTERS (1984) encontraram valores de 0,13% para plantas que cresceram em solos calcariados recebendo doses crescentes de enxofre assim como KLIEMANN (1987) aponta como nível crítico o valor de 0,14% para plantas de milho cultivadas em solos arenosos. Conforme já citado, aqui se observa grande variabilidade nos valores citados como nível crítico de enxofre na planta, indicando que este parâmetro não pode ser analisado isoladamente.

Por outro lado, a baixa concentração de enxofre na planta não foi provocada pela falta do elemento disponível na rizosfera, pois como pode ser observado na FIGURA 02, em todos os tratamentos existem teores de sulfato no solo acima daqueles considerados críticos. Tal fato pode ser explicado pela afirmativa feita por GAINES & PHATAK (1982) onde é comentado que algumas plantas acumulam bastante enxofre e outras acumulam pouco, embora excessos de enxofre estejam presentes em seu meio de crescimento, sendo o milho enquadrado no bloco de baixo acumulador de enxofre.

Todavia outra maneira de atestar-se que uma planta encontra-se bem nutrida no que diz respeito ao enxofre, seria a utilização da relação N/S. Fazendo a análise de variância desta relação, observa-se que não houve efeito significativo de nenhum dos tratamentos sobre a relação, sendo

que a média geral das plantas foi de 15,67 (ANEXO 07); relação próxima a 14, encontrada por DIJKSHOORN & VAN WIJK (1967) em gramíneas que atingiram a maturidade. KLIEMANN (1987) cultivando plantas de milho em solos arenosos obteve uma relação de 10 partes de nitrogênio para cada parte de enxofre.

No ANEXO 06 observa-se efeito altamente significativo tanto do fator material como do fator doses sobre os teores de N na planta. Sendo que plantas cultivadas sobre solos corrigidos com calcário comercial tiveram um teor médio de nitrogênio de 1,06% enquanto que plantas cultivadas com calcário Irati apresentaram um teor médio de 1,16.

Já a influência das doses crescentes de calagem sobre os teores de nitrogênio na planta de milho, encontra-se representada na FIGURA 10, onde constata-se que o aumento de doses de material corretivo, provoca um aumento na concentração de nitrogênio na planta de milho, fato este já registrado em literatura. (FORESTIERI & DE-POLLI, 1990; LIM & SHEN, 1978 e SMITH, 1984)

Observa-se na FIGURA 10 que os teores nitrogênio encontram-se abaixo daqueles teores foliares considerados críticos para a planta de milho.

Novamente, como no caso do enxofre estes teores representam a concentração do elemento na planta inteira e não apenas nas folhas, fato este que faz com que os valores diminuam consideravelmente. (MALAVOLTA, 1976 e HANWAY, 1962).

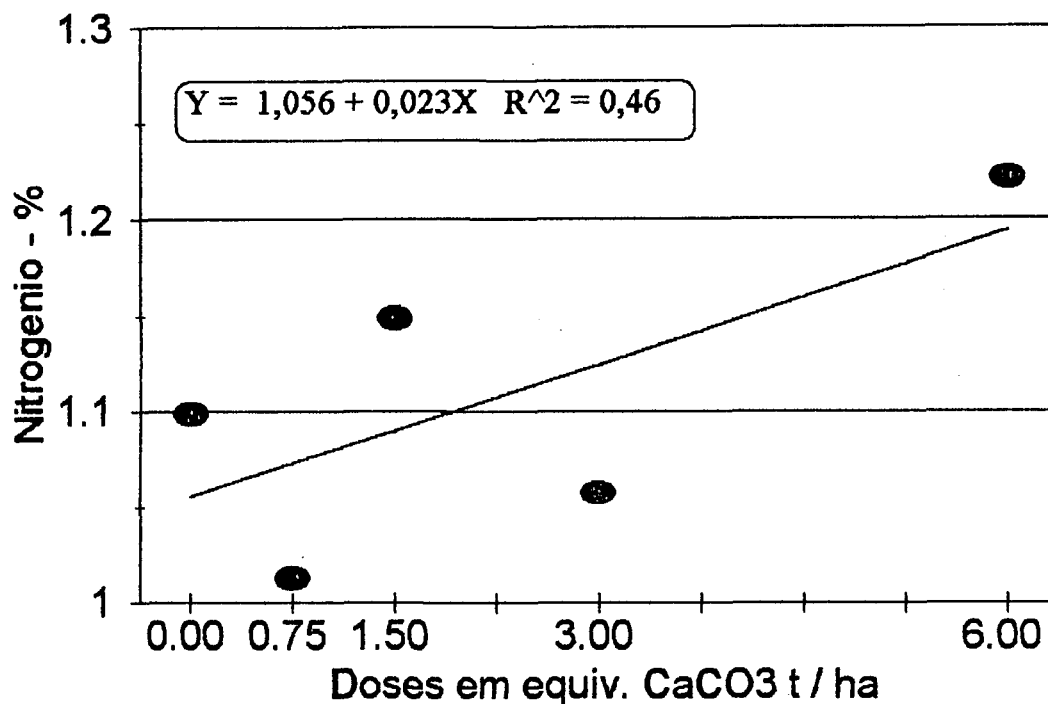


FIGURA 10: EFEITO DE DOSES CRESCENTES DE CALCÁRIO, SOBRE O TEOR DE NITROGÊNIO EM PORCENTAGEM, NA PLANTA DE MILHO, MÉDIA DE QUATRO REPETIÇÕES. UFPR, CURITIBA-PR, 1993.

4.2.2.2 Teor de cobre na planta de milho.

A análise de variância dos dados referentes a concentração de cobre em $\mu\text{g/g}$ na planta de milho indicam que ocorreu interação significativa ao nível de 5% entre os fatores doses e materiais corretivos (ANEXO 06).

Conforme constata-se na FIGURA 11, todas as médias encontram-se acima de $5 \mu\text{g/g}$, nível crítico de cobre para a planta de milho (TRANI et alii, 1983 e MALAVOLTA, 1980). Ainda nesta mesma figura, observa-se que incrementos progressivos das doses de calcário comercial provocaram aumentos nos teores de cobre na planta até a dose de aproximadamente 1,5 t/ha. Aumentos ou manutenção da concentração do elemento provocadas pela calagem também foi constatado por THOMPSON (1962); EL-KHERBAWY & SANDERS (1984); SMITH (1984);

LUTZ et alii (1972); PAYNE et alii (1986) e QUAGGIO et alii (1985). Isto explica-se pela manutenção dos teores de cobre na solução do solo, mesmo com aumento do pH, uma vez que não constatou-se influência significativa de doses crescentes de calagem (ANEXO 04), sobre os teores de cobre no solo.

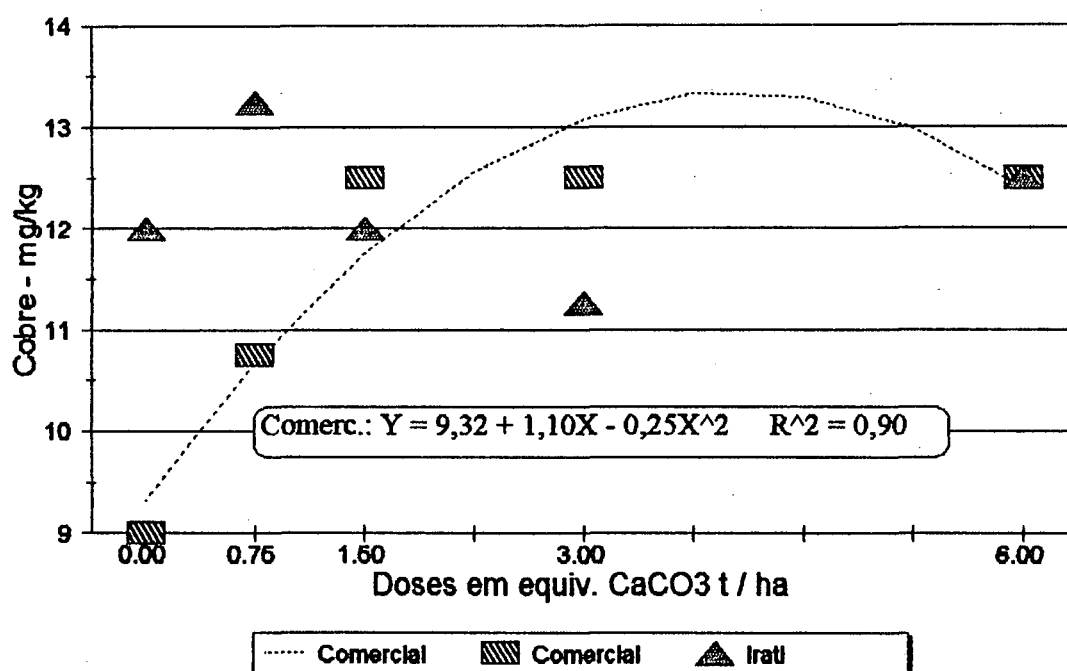


FIGURA 11: EFEITO DE DOSES CRESCENTES DE CALCÁRIO COMERCIAL E CALCÁRIO IRATI, SOBRE O TEOR DE COBRE EM $\mu\text{g/g}$, NA PLANTA DE MILHO, MÉDIA DE QUATRO REPETIÇÕES. UFPR, CURITIBA-PR, 1993.

Já para o caso do calcário Irati, não foi encontrada nenhuma regressão polinomial para representar a influência de doses crescentes do mesmo sobre o teor de cobre nas plantas.

No entanto, pela análise das médias constantes da TABELA 09, observa-se ocorrência de diferença significativa ao nível de 5% a dose de 0,75 t/ha, com vantagem para o solo recebedor de calcário Irati como tratamento, sendo que a partir desta dose, não se constata diferença significativa sobre os teores de cobre na planta, provocada pelos diferentes materiais corretivos. Tal fato atesta, que embora o calcário Irati apresente em sua composição maiores teores de cobre

total, estes não foram absorvidos pela planta de maneira diferenciada; seja porque este elemento não se encontre em forma assimilável pela planta; ou pelo fato do solo encontrar-se com um nível inicial de cobre acima do nível crítico e a adição de cobre então, não acarretaria em aumentos de absorção do elemento (consumo de luxo).

4.2.2.3 Teor de ferro na planta de milho.

A análise de variância dos dados referentes aos teores de ferro na planta de milho, indica a não ocorrência de interação entre material corretivo e doses e apenas o fator dose teve efeito significativo sobre os teores do elemento na planta, não ocorrendo portanto diferenças de teores de ferro na planta provocadas pelo material corretivo (ANEXO 06), apesar de que valores de ferro significativamente maiores foram extraídos com DTPA-TEA dos solos que receberam como tratamento o calcário Irati.

Na FIGURA 12 apresenta-se a regressão polinomial representando a relação entre as doses aplicadas de calcário e o efeito nos teores de ferro na planta de milho, observa-se ainda um teor médio de 48 $\mu\text{g/g}$ de ferro na planta de milho, na testemunha o qual é levemente inferior a 50 $\mu\text{g/g}$, nível crítico citado por JONES JR (1983).

A medida que aumentam-se os níveis de calagem, observa-se ocorrência de incrementos nos teores do elemento na planta, com isso, enquadrando as planta acima dos níveis considerados como crítico.

Em literatura encontram-se relatos de que aumentos de pH não influenciaram a concentração de ferro nas plantas (LUTZ et alii, 1972; AMBAK et alii, 1991; MARTINI & MUTTERS, 1985), ou então o incremento de pH teve efeito antagônico sobre os teores do elemento na planta (JARIEL et alii, 1991). Aumentos nos teores de ferro na planta provocados por aumentos de doses de calagem, conforme constado neste experimento, foi igualmente observado

por QUAGGIO et alii (1985) trabalhando com plantas de feijão e MENGEL & KIRKBY (1987) em experimento realizado em videiras, onde, embora tenha sido notado um aumento nos teores de ferro na planta a clorose causada pela falta do elemento, persistiu, indicando que o ferro absorvido não estava fisiologicamente ativo. No presente experimento não constatou-se sintomas de deficiência de ferro nas plantas de milho e provavelmente este aumento da concentração do nutriente tenha sido provocado pela redução na absorção de manganês.

O aumento nos teores de ferro na planta, pode ser explicada pela interação Fe x Mn, uma vez que a calagem provoca uma redução na absorção de Mn aumentando dessa forma a absorção de ferro (BATAGLIA, 1988).

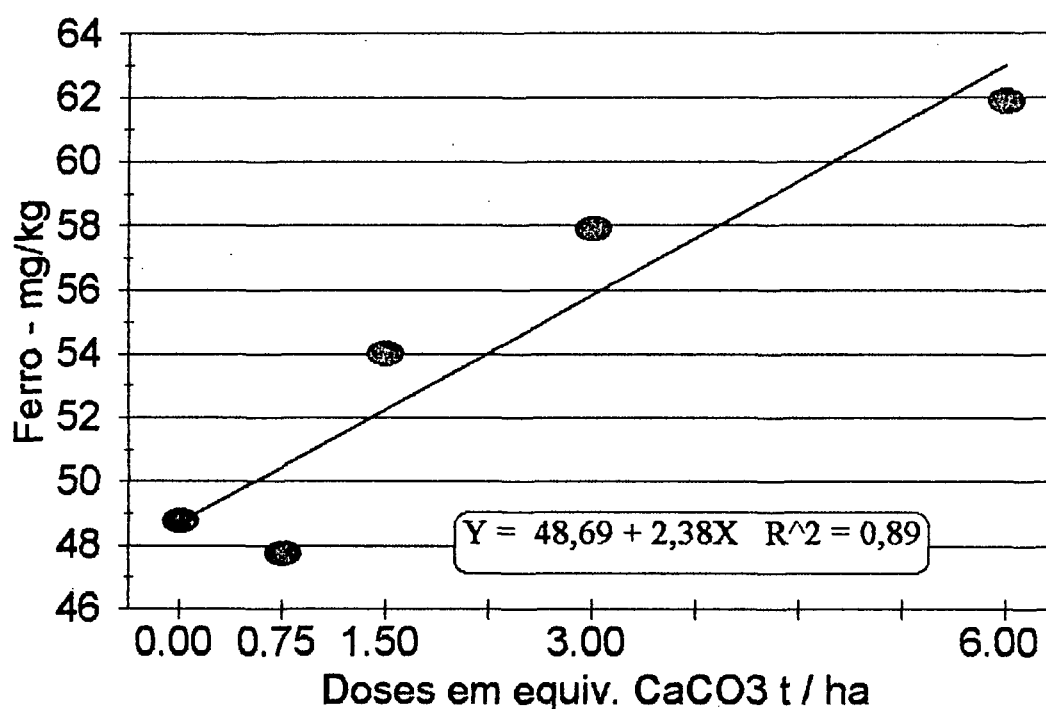


FIGURA 12: EFEITO DE DOSES CRESCENTES DE CALCÁRIO, SOBRE O TEOR DE FERRO EM $\mu\text{g/g}$, NA PLANTA DE MILHO, MÉDIA DE OITO REPETIÇÕES. UFPR, CURITIBA-PR, 1993.

Mesmo não tendo sido observadas diferenças nos teores de ferro na planta provocadas por distintos materiais corretivos, quando se avalia as quantidades totais de ferro absorvidos, nota-se

na dosagem de 6 t/ha, a ocorrência de diferença significativa devido os materiais corretivos, sendo que plantas cultivadas com calcário comercial absorveram em média 7,22 mg/vaso, enquanto que plantas cultivadas com calcário Irati absorveram apenas 4,52 mg/vaso.

A interação antagonica entre o ferro e o manganês pode ser explicitada pela relação Fe/Mn (ANEXO 07). Conforme a FIGURA 13 o aumento de doses de ambos os materiais provocou um incremento nos valores da relação, indicando uma diminuição nos teores de Mn das plantas (FIGURA 14) e consequentemente um aumento nos teores de ferro (FIGURA 12). Observa-se ainda na testemunha que o valor da relação é de aproximadamente 0,31 e 0,38, para o calcário Irati e calcário comercial respectivamente, sendo que com apenas uma relação de 0,17, ASSMANN (1993), observou sintomas de deficiência ferro na planta, não sendo tal fato entretanto observado no atual experimento.

Analisando mais especificamente o comportamento dos materiais corretivos dentro de cada dose, conforme TABELA 09, nota-se comportamento semelhante dos dois tipos de corretivos, com exceção da dose de 6 t/ha, onde o calcário comercial apresentou valores da relação Fe/Mn superiores ao calcário Irati, provavelmente por este último, quando adicionado ao solo liberar maiores quantidades de manganês, além de que a quantidade total de ferro absorvida pelas plantas de milho cultivadas sobre calcário comercial foi significativamente maior do daquelas plantas cultivadas sobre calcário Irati.

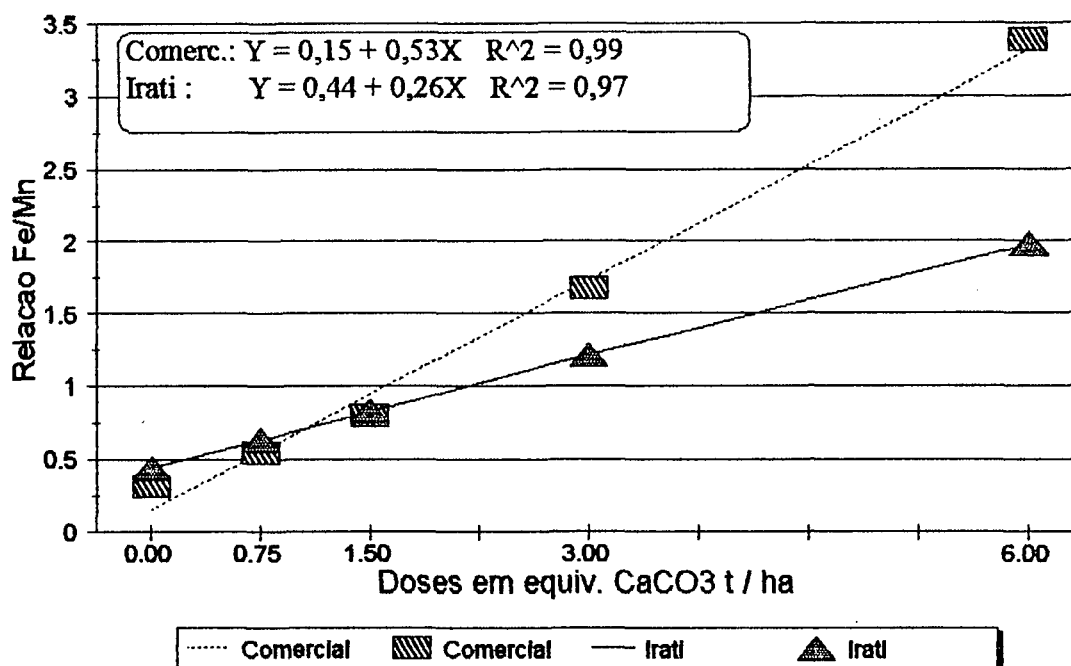


FIGURA 13: EFEITO DE DOSES CRESCENTES DE CALCÁRIO COMERCIAL E CALCÁRIO IRATI, SOBRE A RELAÇÃO Fe/Mn NA PLANTA DE MILHO, MÉDIA DE QUATRO REPETIÇÕES. UFPR, CURITIBA-PR, 1993.

4.2.2.4 Teor de manganês na planta de milho.

A análise de variância referente aos teores de manganês na planta de milho, constam no ANEXO 6, onde verifica-se a ocorrência de interação significativa do tipo de corretivo com doses sobre os teores do elemento na planta. Na FIGURA 14 observa-se que aumento nas doses dos materiais corretivos provocaram uma redução significativa nos teores de manganês na planta de milho para os dois tipos de corretivos, sendo que estes variaram em média de aproximadamente 160 $\mu\text{g/g}$ a 20 $\mu\text{g/g}$. No entanto mesmo nos teores mais baixo do elemento na planta, estes ainda encontram-se acima dos níveis críticos de 10 $\mu\text{g/g}$ e 20 $\mu\text{g/g}$ apontado por MALAVOLTA (1980) e JONES JR (1983) respectivamente. Esta redução dos teores de manganês nas plantas provocada

pela calagem foi também observada por THOMPSON (1962), SMITH (1984); EL-KHERBAWY & SANDERS (1984) e YORK (1954).

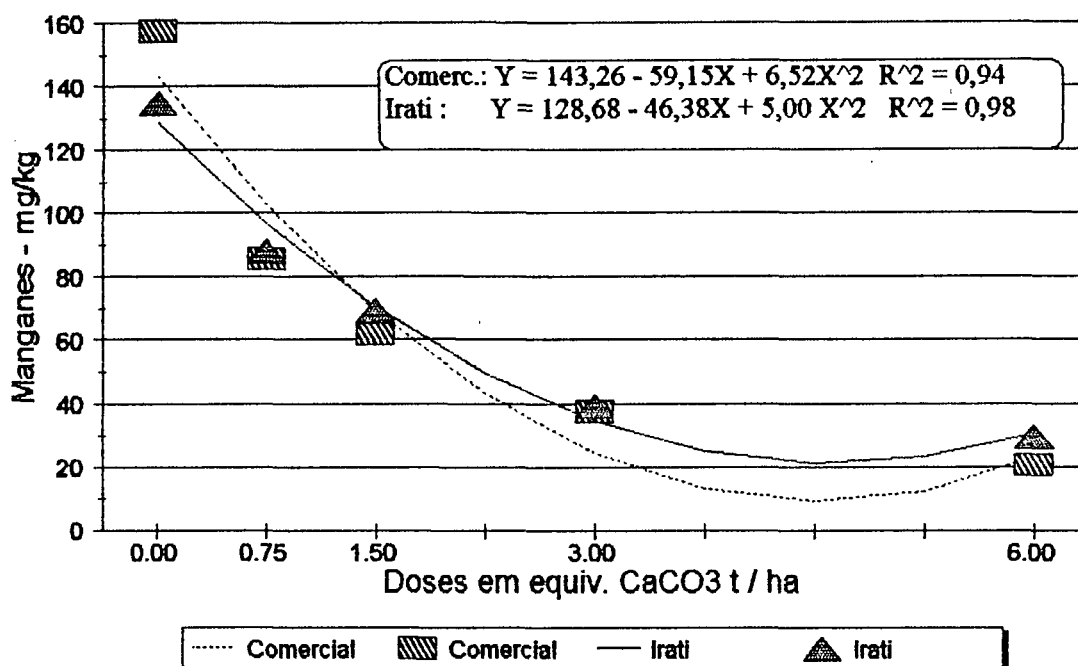


FIGURA 14: EFEITO DE DOSES CRESCENTES DE CALCÁRIO COMERCIAL E CALCÁRIO IRATI, SOBRE O TEOR DE MANGANÊS EM $\mu\text{g/g}$, NA PLANTA DE MILHO, MÉDIA DE QUATRO REPETIÇÕES. UFPR, CURITIBA-PR, 1993.

Embora a interação entre doses e materias corretivos tenha apresentado-se significativa, esta o foi, apenas devido a diferença entre os materiais na dose de 0 t/ha, o que, provavelmente, pode ser atribuído, à amplitude da variação dos dados (TABELA 09).

Fazendo a correlação dos teores de manganês extraídos com DTPA-TEA, com os teores de manganês na planta, encontrou-se a equação $Y = -71,5489 + 9,0795X$, com um coeficiente de correlação de 0,846612**; BATAGLIA & VAN RAIJ (1989) não encontraram correlação significativa entre estes parâmetros, provavelmente por trabalharem com diversos tipos de solos.

4.2.2.5 Teor de zinco na planta de milho.

Encontram-se no ANEXO 06 os resultados das análises de variâncias dos dados obtidos para o teor de zinco na planta, apontando efeito significativo da interação de doses crescentes de calagem x materiais corretivos sobre os teores deste.

Na FIGURA 15, nota-se que o aumento das doses do calcário comercial provoca um decréscimo da concentração elemento na planta de milho. Por outro lado não se observou nenhuma regressão polinomial significativa para representar a mesma relação quando aplicado o calcário Irati, indicando que a utilização desse material não tem efeito sobre os teores do elemento na planta, mantendo uma média de 16,7 µg de zinco por g de matéria seca.

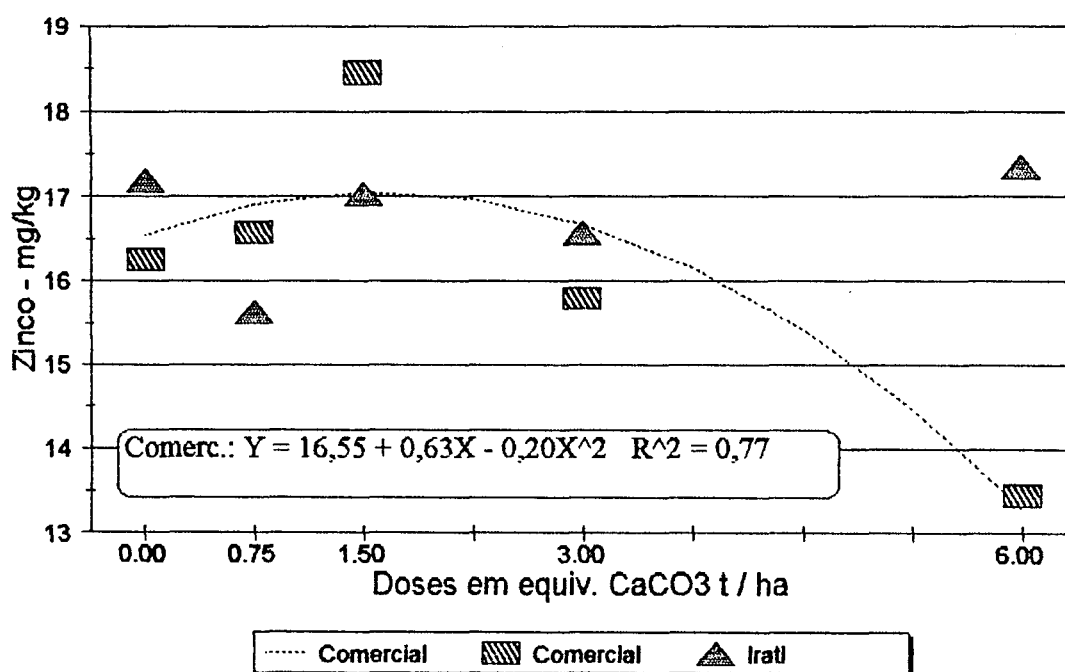


FIGURA 15: EFEITO DE DOSES CRESCENTES DE CALCÁRIO COMERCIAL E CALCÁRIO IRATI, SOBRE O TEOR DE ZINCO EM µg/g, MÉDIA DE QUATRO REPETIÇÕES. UFPR, CURITIBA-PR, 1993.

Na TABELA 09 observa-se que na dose de 6,0 t/ha ocorreu uma diferença significativa entre os teores de zinco na planta, sendo que, nas plantas cultivadas no substrato que recebeu como corretivo o calcário Irati, os teores de zinco apresentam-se acima do nível crítico apontado por

MALAVOLTA (1980), MELSTED et alii, (1969) e JONES & ECK (1973) que é de 15 μg de zinco por grama de tecido foliar e levemente abaixo do nível citado por TRANI et alii (1983). Contrastantemente no tratamento que recebeu calcário comercial, o teor encontra-se abaixo dos níveis citados.

Vários são os relatos de diminuição dos teores foliares de zinco, provocados por calagem excessiva, acarretando em grande parte dos casos, em diminuição da produção de grãos (PEPPER et alii, 1983; MARTINI & MUTTERS, 1985; PAYNE et alii, 1986; RITCHEY et alii, 1986; LUTZ et alii, 1972; SMITH, 1984 e LINS & COX, 1989). Portanto a dinâmica do nutriente representada na FIGURA 15 pela curva do calcário comercial era o esperado, principalmente quando considerado o efeito diluição, uma vez que estas plantas apresentaram maior produção de massa seca e não houve aumento na taxa de absorção de zinco, acarretando em diminuição dos teores do elemento na planta.

Por outro lado, a manutenção dos teores de zinco na planta, acompanhado pelo aumento de produção de massa seca, quando utilizado o calcário Irati, é justificada pela quantidade de zinco total contida neste material corretivo, a qual, conforme, evidenciado por análise nutricional da planta, encontrava-se em disponibilidade para as mesmas. Este maior teor de zinco provocado por diferentes composições químicas dos corretivos foi anteriormente observada por MIRANDA (1985), o qual ressaltou, que embora houvesse absorção diferenciada do elemento, o uso exclusivo do calcário com zinco, não eliminaria a necessidade de aplicação do micronutriente em solos que estivessem abaixo dos níveis considerados críticos.

No presente trabalho, igualmente ao obtido por MIRANDA (1985), a diferença entre os teores de zinco na planta, foi um tanto pequena, ainda que considerando o fato de tratar-se de um segundo cultivo de milho em vaso. Provavelmente em outros substratos onde a capacidade de troca catiônica seja maior, o efeito do micronutriente seja mais facilmente percebido, devido à maiores taxas de necessidade de calagem.

Outra maneira de ser constatada a situação nutricional de plantas é o uso de relações. Ainda para avaliação do zinco, relação Fe/Zn na planta (ANEXO 7), encontra-se representada na FIGURA 16, onde o calcário Irati conseguiu manter esta relação constante ao redor de 3, e plantas receptoras de calcário comercial nas doses 3,00 e 6,00 t/ha, apresentam uma elevação no valor desta, chegando até 5, o que aproxima-se muito do nível crítico desta relação apontado por NAMBIAR & MONTIRAMANI (1981) que é de 6. Isto também indica no caso do calcário comercial que embora as quantidades de ferro absorvidas pela planta tenham acompanhado o aumento de massa seca de milho, o mesmo não ocorreu para o zinco, provavelmente devido ao efeito antagônico entre os dois elementos. Já no caso das plantas cultivadas sobre o calcário Irati foi possível a manutenção desta relação devido a uma menor quantidade de ferro absorvida, o que pode ter sido provocado por uma maior disponibilidade de zinco no meio de cultivo.

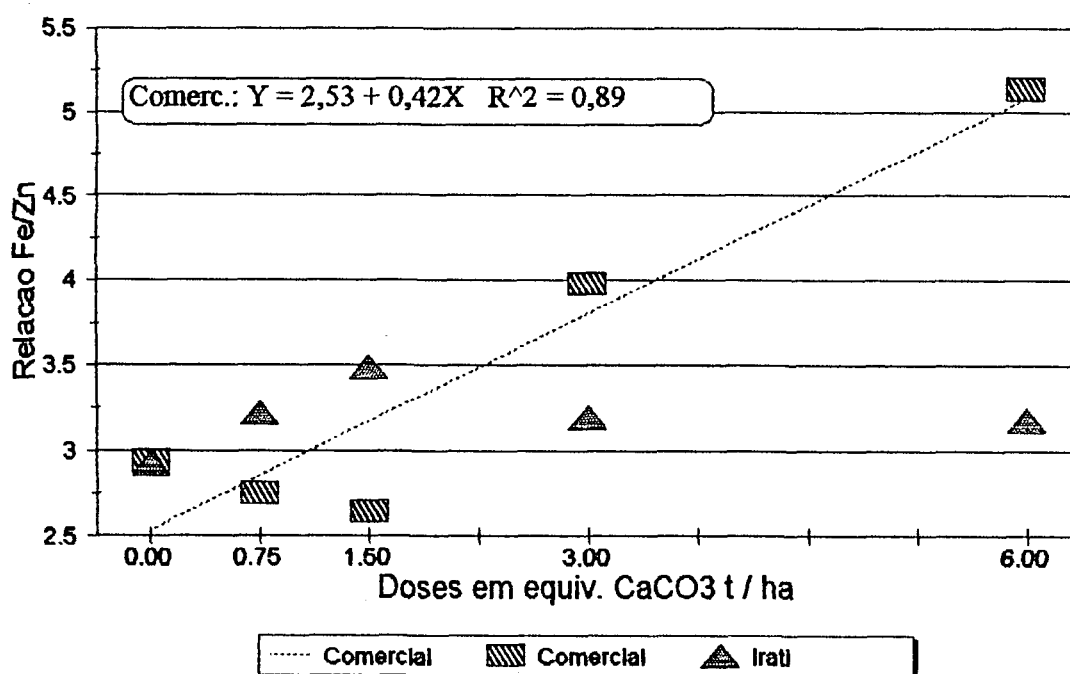


FIGURA 16: EFEITO DE DOSES CRESCENTES DE CALCÁRIO COMERCIAL E CALCÁRIO IRATI, SOBRE A RELAÇÃO Fe/Zn NA PLANTA DE MILHO, MÉDIA DE QUATRO REPETIÇÕES. UFPR, CURITIBA-PR, 1993.

Mesmo o calcário Irati, garantindo um melhor fornecimento de zinco às plantas cultivadas a dose de 6 t/ha, isto não refletiu em melhores resultados, o que pode ser comprovado quando analisado os valores de massa seca, comprimento, diâmetro do colmo da planta etc. Isto evidencia, que este nível de calagem, para ambos os corretivos, seria um valor exagerado, acarretando para o solo desequilíbrios o que se traduziriam em menores produtividades.

A superestimação de necessidade de calagem, além de ser antieconômica, poderá ter efeitos negativos diretos na produção de plantas e na eficiência de aproveitamento de insumos utilizados.

5 CONCLUSÃO.

Com base nas informações obtidas no presente trabalho, concluiu-se que:

- 01** Doses crescentes de calcário Irati provocaram aumentos nos teores de sulfato no solo, atingindo o valor de 49 $\mu\text{g/g}$, na mais alta dose; enquanto que doses crescentes de calcário comercial tiveram pouco efeito sobre os teores do elemento no solo. Contudo, tais diferenças, não refletiram sobre a concentração de enxofre na planta de milho.
- 02** Até a dose de 3 t/ha, a qual elevou a porcentagem de saturação de bases do solo a 76%, ambos os materiais corretivos foram equivalentes quanto a produção de massa seca, comprimento e diâmetro do colmo da planta.
- 03** Aumento de doses de calagem provocaram decréscimos nos teores de manganês e ferro e não tiveram efeito sobre os teores de cobre no solo extraídos com DTPA-TEA. Na planta este aumento foi acompanhado da elevação na concentração de cobre e ferro e da diminuição da concentração de manganês. Já quanto ao efeito dos materiais corretivos, os solos corrigidos com calcário Irati apresentaram teores de cobre, ferro e manganês extraídos com DTPA-TEA; 5%, 10% e 9%, respectivamente maiores do que aqueles que receberam calcário comercial. Todavia na planta, não foram constatadas diferenças desses elementos provocadas pelos materiais corretivos.
- 04** Na mais alta dose de calagem (6 t/ha), as plantas cultivadas com calcário Irati apresentaram teores de zinco significativamente mais elevados do que aquelas cultivadas com calcário comercial, uma vez que o incremento de doses deste último material provocou uma diminuição da concentração do elemento na planta, enquanto que doses crescentes do calcário Irati mantiveram os níveis de zinco constante.

ANEXOS

ANEXO 01: NÍVEIS DE PROBABILIDADE, COEFICIENTE DE VARIAÇÃO (CV%) E VALORES MÉDIOS DOS TEORES DE SULFATO EM $\mu\text{g/g}$ EXTRAÍDO DO SOLO QUE RECEBEU COMO TRATAMENTO DOSES CRESCENTES DE CALCÁRIO COMERCIAL E CALCÁRIO IRATI NOS DIAS 01, 05, 15, 60, 90 E 280 DE INCUBAÇÃO. UFPR, CURITIBA-PR, 1993.

FONTES DE VARIAÇÃO		NÍVEIS DE PROBABILIDADE					
	GL	Dia 01	Dia 05	Dia 15	Dia 60	Dia 90	Dia 280
Material	01	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
Dosagens	04	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
Material x Dosagens	04	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
CV%		7,30	7,32	5,75	8,45	8,01	10,13
Média		14,32	13,38	21,75	18,15	18,28	23,96

ANEXO 02: REGRESSÕES POLINOMIAIS E COEFICIENTES DE DETERMINAÇÃO REFERENTE AOS DIAS 01, 05, 15, 60, 90 E 280 DE INCUBAÇÃO. UFPR, CURITIBA-PR, 1993.

DIA	MATERIAL	REGRESSÃO POLINOMIAL	R
01	Calc. Comercial	$Y = 11,60 + 0,70 X - 0,136 X^2$ *	0,9982
	Calc. Irati	$Y = 12,42 - 0,04 X + 0,466 X^2$ **	0,9816
05	Calc. Comercial	$Y = 10,13 - 0,70 X + 0,147 X^2$ *	0,7495
	Calc. Irati	$Y = 9,83 + 3,096 X$ **	0,9954
15	Calc. Comercial	$Y = 18,712 - 3,312 X + 1,658 X^2 - 0,185 X^3$ *	0,5330
	Calc. Irati	$Y = 20,749 - 2,122 X$ **	0,9820
60	Calc. Comercial	Não significativa	-----
	Calc. Irati	$Y = 14,963 + 4,04 X - 0,357 X^2$	0,9426
90	Calc. Comercial	$Y = 12,317 - 0,731 X + 0,191 X^2$	0,9805
	Calc. Irati	$Y = 10,099 + 7,333 X - 0,266 X^2$	0,9796
280	Calc. Comercial	Não significativa	-----
	Calc. Irati	$Y = 15,237 + 8,276 X$	0,9955

ANEXO 3: TEORES DE SULFATO EM $\mu\text{g/g}$ EXTRAÍDO DO SOLO QUE RECEBEU COMO TRATAMENTO DOSES CRESCENTES DE CALCÁRIO COMERCIAL E CALCÁRIO IRATI AMOSTRADO NO DIA 01 DE INCUBAÇÃO, MÉDIA DE QUATRO REPETIÇÕES. UFPR, CURITIBA-PR, 1993.

MAT.		DOSAGENS t/ha equiv. de CaCO_3									
		0,00		0,75		1,50		3,00		6,00	
DIA	Irati	11,68	a A	13,05	a A	14,68	a A	15,35	a A	29,12	a A
01	Com.	11,62	a A	12,00	a A	12,35	b B	12,48	b B	10,88	b B
DIA	Irati	9,10	b A	12,60	a A	14,95	a A	19,08	a A	28,25	a A
05	Com.	10,60	a A	9,23	b B	9,18	b B	9,78	b B	11,12	b B
DIA	Irati	20,67	a A	22,95	a A	22,90	a A	27,75	a A	33,34	a A
15	Com.	19,13	a A	15,82	b B	17,95	b B	18,42	b B	18,58	b B
DIA	Irati	14,20	a A	18,02	a A	21,85	a A	22,55	a A	26,58	a A
60	Com.	14,50	a A	13,78	b B	14,83	b B	17,43	b B	17,78	b B
DIA	Irati	11,15	a A	12,88	a A	22,20	a A	29,55	a A	44,47	a A
90	Com.	12,17	a A	11,95	a A	11,90	b B	11,63	b B	14,85	b B
DIA	Irati	15,30	a A	21,30	a A	26,30	a A	42,22	a A	64,18	a A
280	Com.	15,30	a A	14,43	b B	12,82	b B	13,68	b B	14,08	b B

a, b Valores seguidos por letras distintas diferem entre si ao nível de 5% de probabilidade
A, B Valores seguidos por letras distintas diferem entre si ao nível de 1% de probabilidade

ANEXO 04: NÍVEIS DE PROBABILIDADE, COEFICIENTES DE VARIAÇÃO (CV%) E MÉDIA GERAL DOS TEORES DE COBRE, FERRO, MANGANÊS E ZINCO EXTRAÍDO DO SOLO COM DTPA-TEA. UFPR, CURITIBA-PR, 1993.

FONTES DE VARIAÇÃO		NÍVEIS DE PROBABILIDADE					
	GL	Sulfato	pH	Cobre	Ferro	Manganês	Zinco
Material	01	0,0000	0,0000	0,0313	0,0000	0,0091	0,2471
Dosagens	04	0,0000	0,0000	0,1667	0,0000	0,0000	0,8767
Material x Dosagens	04	0,0000	0,0000	0,0514	0,2041	0,5268	0,0710
CV%		7,16	0,53	7,30	5,71	10,66	40,42
Média		21,51	5,02	0,82	37,17	15,83	0,94

ANEXO 05: NÍVEIS DE PROBABILIDADE, COEFICIENTES DE VARIAÇÃO (CV%) E MÉDIA GERAL DE MASSA SECA, MASSA VERDE, COMPRIMENTO, DIÂMETRO DO COLMO, DISTÂNCIA ENTRENÓS E ALTURA DA PLANTA DE MILHO. UFPR, Curitiba-PR, 1993.

FONTES DE VARIAÇÃO		NÍVEIS DE PROBABILIDADE					
	GL	M. SECA	M. VER.	COMP.	D.COLMO	D.ENTRENÓ	ALTURA
Material	01	0,9260	0,9152	0,0352	0,0330	0,5247	0,4287
Dosagens	04	0,0008	0,0000	0,0370	0,0000	0,2704	0,3540
Material x Dosagens	04	0,0164	0,0000	0,2644	0,0033	0,5204	0,9469
CV%		12,43	5,49	3,23	5,43	14,32	6,02
Média		80,52	290,93	126,58	1,04	8,10	96,35

ANEXO 06: NÍVEIS DE PROBABILIDADE, COEFICIENTES DE VARIAÇÃO (CV%) E MÉDIA GERAL DOS TEORES DE ENXOFRE TOTAL, NITROGÊNIO TOTAL, COBRE, FERRO, MANGANÊS E ZINCO DA PLANTA MILHO. UFPR, Curitiba-PR, 1993.

FONTES DE VARIAÇÃO		NÍVEIS DE PROBABILIDADE					
	GL	S	N	Cu	Fe	Mn	Zn
Material	01	0,1713	0,0102	0,1438	0,74871	0,88794	0,07213
Dosagens	04	0,0000	0,0108	0,1341	0,03508	0,00001	0,00270
Material x Dosagens	04	0,0327	0,20147	0,04280	0,08788	0,00357	0,00255
CV%		5,47	10,40	13,48	18,22	11,28	7,79
Média		708,62	1,11	11,82	54,05	72,22	16,52

ANEXO 07: NÍVEIS DE PROBABILIDADE, COEFICIENTES DE VARIAÇÃO (CV%) E MÉDIA GERAL REALÇÕES N/S, Fe/Mn e Fe/Zn DA PLANTA DE MILHO UFPR, CURITIBA-PR, 1993.

FONTES DE VARIAÇÃO		NÍVEIS DE PROPABILIDADE		
	G.L.	Relação N/S	Relação Fe/Mn	Relação Fe/Zn
Material	01	0.06643	0.00029	0.12795
Dosagens	04	0.28706	0.00001	0.00102
Material x Dosagens	04	0.19064	0.00001	0.00054
CV%		11,28	19,53	17,55
Média		15,67	1,18	3,34

ANEXO 8: VALORES OBTIDOS DE SULFATO NO SOLO EM $\mu\text{g/g}$ REALIZADO PELO LABORATÓRIO DA UFRGS-PORTO ALEGRE, PARA CADA DIA 01, 05, 15, 60, 90 E 280 DE INCUBAÇÃO.

Material	Dos	Rep	Sulfato $\mu\text{g/g}$					
			Dia 01	Dia 05	Dia 15	Dia 60	Dia 90	Dia 280
Comercial	0.00	a	12.5	10.0	19.5	14.8	10.4	16.7
Comercial	0.00	b	12.5	11.8	20.3	15.0	13.4	14.6
Comercial	0.00	c	11.1	10.0	17.2	14.1	11.8	14.6
Comercial	0.00	d	10.4	10.6	19.5	14.1	13.1	15.3
Comercial	0.75	a	12.0	8.1	14.1	12.5	13.4	14.6
Comercial	0.75	b	12.0	9.4	14.8	13.3	13.4	15.3
Comercial	0.75	c	12.0	10.0	17.2	16.0	10.4	13.9
Comercial	0.75	d	12.0	9.0	17.2	13.3	10.6	13.9
Comercial	1.50	a	12.0	8.8	19.5	14.8	11.3	11.8
Comercial	1.50	b	11.4	8.1	17.9	13.3	11.3	12.5
Comercial	1.50	c	13.0	10.4	17.2	16.4	13.2	13.9
Comercial	1.50	d	13.0	9.4	17.2	14.8	11.8	13.1
Comercial	3.00	a	14.0	8.8	17.4	15.6	13.9	12.5
Comercial	3.00	b	14.6	11.3	18.8	19.5	11.1	13.9
Comercial	3.00	c	10.4	10.0	18.0	17.2	11.1	12.5
Comercial	3.00	d	10.9	9.0	19.5	17.4	10.4	15.8
Comercial	6.00	a	10.4	11.3	18.0	18.0	15.3	13.2
Comercial	6.00	b	10.8	11.3	18.8	18.0	13.5	14.6
Comercial	6.00	c	11.4	10.6	17.2	16.4	15.3	15.3
Comercial	6.00	d	10.9	11.3	20.3	18.7	15.3	13.2
Irati	0.00	a	12.0	10.0	21.2	14.6	9.0	15.3
Irati	0.00	b	10.9	8.8	20.1	15.6	10.6	14.6
Irati	0.00	c	11.8	8.8	19.5	14.1	13.1	16.0
Irati	0.00	d	12.0	8.8	21.9	12.5	11.9	15.3
Irati	0.75	a	13.2	11.3	22.2	17.2	11.9	20.4
Irati	0.75	b	13.0	12.5	21.9	18.0	11.8	21.6
Irati	0.75	c	12.5	12.8	24.3	20.3	15.3	21.6
Irati	0.75	d	13.5	13.8	23.4	16.6	12.5	21.6
Irati	1.50	a	14.1	14.4	23.4	21.9	25.0	25.1
Irati	1.50	b	14.4	15.3	21.9	21.1	20.6	26.7
Irati	1.50	c	15.6	16.3	23.4	23.1	21.9	29.3
Irati	1.50	d	14.6	13.8	22.9	21.3	21.3	24.1
Irati	3.00	a	14.6	17.5	25.8	18.7	30.0	33.0
Irati	3.00	b	15.6	19.4	29.7	22.2	29.4	47.2
Irati	3.00	c	15.6	20.0	29.2	26.4	29.4	47.2
Irati	3.00	d	15.6	19.4	26.3	22.9	29.4	41.5
Irati	6.00	a	27.0	28.9	32.6	27.8	43.8	64.2
Irati	6.00	b	30.5	30.0	34.4	25.7	42.8	64.2
Irati	6.00	c	28.2	26.8	32.8	26.4	46.9	62.3
Irati	6.00	d	30.8	27.3	33.6	26.4	44.4	66.0

ANEXO 9: VALORES OBTIDOS DE pH E SULFATO NO SOLO EM $\mu\text{g/g}$ REALIZADO PELO LABORATÓRIO DA UFRGS-PORTO ALEGRE, NO EXPERIMENTO ONDE CULTIVOU-SE MILHO.

Material	Dos	Rep	pH	Sulfato $\mu\text{g/g}$
Comercial	0.00	a	4.50	16.3
Comercial	0.00	b	4.49	16.7
Comercial	0.00	c	4.50	19.2
Comercial	0.00	d	4.51	15.0
Comercial	0.75	a	4.69	14.2
Comercial	0.75	b	4.65	15.0
Comercial	0.75	c	4.70	15.0
Comercial	0.75	d	4.69	15.8
Comercial	1.50	a	4.89	15.0
Comercial	1.50	b	4.85	14.2
Comercial	1.50	c	4.89	13.3
Comercial	1.50	d	4.90	14.2
Comercial	3.00	a	5.28	15.8
Comercial	3.00	b	5.31	15.0
Comercial	3.00	c	5.30	16.7
Comercial	3.00	d	5.29	15.9
Comercial	6.00	a	6.00	22.5
Comercial	6.00	b	6.02	19.2
Comercial	6.00	c	6.08	20.0
Comercial	6.00	d	6.10	19.0
Irati	0.00	a	4.52	12.5
Irati	0.00	b	4.56	12.5
Irati	0.00	c	4.55	14.2
Irati	0.00	d	4.50	11.7
Irati	0.75	a	4.62	17.5
Irati	0.75	b	4.60	17.5
Irati	0.75	c	4.59	16.9
Irati	0.75	d	4.61	16.2
Irati	1.50	a	4.79	22.6
Irati	1.50	b	4.76	22.6
Irati	1.50	c	4.79	21.0
Irati	1.50	d	4.75	24.2
Irati	3.00	a	5.19	33.1
Irati	3.00	b	5.15	34.0
Irati	3.00	c	5.20	27.4
Irati	3.00	d	5.17	31.7
Irati	6.00	a	5.70	52.0
Irati	6.00	b	5.72	47.0
Irati	6.00	c	5.79	50.0
Irati	6.00	d	5.78	48.0

ANEXO 10: VALORES OBTIDOS DE DE COBRE, FERRO, MANGANÊS E ZINCO EM $\mu\text{g/g}$ UTILIZANDO COMO EXTRATOR O DTPA-TEA NO SOLO, QUE RECEBEU COMO TRATAMENTO DOSAGENS CRESCENTES DE CALCÁRIO COMERCIAL E CALCÁRIO IRATI.

Material	Dos	Rep	DTPA-TEA			
			Cu	Fe	Mn	Zn
Comercial	0.00	a	0.78	36.0	15.0	0.74
Comercial	0.00	b	0.80	47.0	22.6	0.82
Comercial	0.00	c	0.94	49.6	22.6	1.10
Comercial	0.00	d	0.80	48.0	21.8	1.76
Comercial	0.75	a	0.80	43.0	18.6	0.86
Comercial	0.75	b	0.78	45.0	18.8	0.94
Comercial	0.75	c	0.78	43.6	18.4	1.02
Comercial	0.75	d	0.86	43.6	18.0	0.80
Comercial	1.50	a	0.80	38.2	14.8	0.56
Comercial	1.50	b	0.84	39.4	14.8	0.68
Comercial	1.50	c	0.76	37.2	14.0	1.94
Comercial	1.50	d	0.72	37.0	14.6	1.58
Comercial	3.00	a	0.70	29.2	11.0	0.60
Comercial	3.00	b	0.68	29.0	10.0	0.64
Comercial	3.00	c	0.88	31.4	12.0	0.60
Comercial	3.00	d	0.82	30.4	12.0	0.64
Comercial	6.00	a	0.88	18.6	10.0	1.46
Comercial	6.00	b	0.76	19.8	11.0	0.72
Comercial	6.00	c	0.88	19.2	10.6	1.90
Comercial	6.00	d	0.78	20.0	11.2	0.88
Irati	0.00	a	0.82	48.6	22.6	1.00
Irati	0.00	b	0.98	46.4	22.6	0.74
Irati	0.00	c	0.86	47.4	22.4	0.90
Irati	0.00	d	0.82	47.2	21.8	0.74
Irati	0.75	a	0.86	45.0	18.0	0.88
Irati	0.75	b	0.92	45.2	18.6	1.08
Irati	0.75	c	0.92	45.2	18.6	0.98
Irati	0.75	d	0.88	45.4	18.6	1.38
Irati	1.50	a	0.84	43.0	16.4	0.78
Irati	1.50	b	0.90	42.4	15.8	0.92
Irati	1.50	c	0.92	41.6	15.8	0.66
Irati	1.50	d	0.84	43.0	16.4	0.80
Irati	3.00	a	0.88	36.8	12.0	1.94
Irati	3.00	b	0.82	34.8	13.0	0.68
Irati	3.00	c	0.80	34.6	12.4	0.64
Irati	3.00	d	0.84	34.6	12.0	0.80
Irati	6.00	a	0.74	25.0	11.4	0.74
Irati	6.00	b	0.72	26.2	12.4	0.52
Irati	6.00	c	0.70	24.4	19.0	0.54
Irati	6.00	d	0.84	24.8	11.8	0.68

ANEXO 11: VALORES DE MASSA SECA, MASSA VERDE, COMPRIMENTO, ALTURA, DIÂMETRO DO COLMO E DISTÂNCIA ENTRENÓ DA PLANTA DE MILHO QUE RECEBEU DOSAGENS CRESCENTES DE CALCÁRIO COMERCIAL E CALCÁRIO IRATI.

Material	Dos	Rep	M. Seca	M. Verde	Comprimento	Altura	Diâm. colmo	Dist. entrenó
		 g cm			
Comercial	0.00	a	68.33	285	116	92	0.98	9.0
Comercial	0.00	b	65.34	258	123	96	0.92	11.7
Comercial	0.00	c	67.68	238	129	96	1.00	8.3
Comercial	0.00	d	68.58	275	123	89	1.06	7.3
Comercial	0.75	a	78.01	278	133	87	1.03	10.0
Comercial	0.75	b	71.08	287	120	98	1.06	8.5
Comercial	0.75	c	79.62	291	127	94	1.19	7.7
Comercial	0.75	d	70.94	281	129	103	0.96	9.0
Comercial	1.50	a	81.01	293	124	89	1.01	7.2
Comercial	1.50	b	77.88	271	125	90	1.03	7.7
Comercial	1.50	c	86.52	257	132	97	1.02	8.3
Comercial	1.50	d	68.05	250	129	109	0.96	9.0
Comercial	3.00	a	70.57	273	130	95	0.98	8.5
Comercial	3.00	b	76.45	249	122	97	1.06	9.8
Comercial	3.00	c	78.11	233	124	98	1.11	7.2
Comercial	3.00	d	85.45	258	121	95	0.94	6.8
Comercial	6.00	a	84.81	376	123	89	1.35	6.2
Comercial	6.00	b	119.17	386	125	104	1.18	6.0
Comercial	6.00	c	115.48	386	126	101	1.17	8.5
Comercial	6.00	d	100.28	388	122	93	1.23	7.7
Irati	0.00	a	63.88	269	127	89	0.96	8.5
Irati	0.00	b	74.55	288	127	98	0.98	9.3
Irati	0.00	c	78.63	257	123	90	0.94	6.7
Irati	0.00	d	73.08	252	122	90	0.91	7.8
Irati	0.75	a	60.65	274	127	96	0.99	8.7
Irati	0.75	b	96.98	290	133	99	0.97	7.8
Irati	0.75	c	80.01	285	129	99	1.01	7.7
Irati	0.75	d	81.48	264	127	97	0.94	7.5
Irati	1.50	a	59.64	250	125	98	0.94	10.0
Irati	1.50	b	76.73	299	132	101	1.06	8.5
Irati	1.50	c	90.74	281	128	103	1.06	8.0
Irati	1.50	d	78.46	284	132	95	1.04	7.8
Irati	3.00	a	101.68	322	136	101	1.09	8.0
Irati	3.00	b	85.22	314	132	99	1.10	7.5
Irati	3.00	c	85.93	288	127	84	1.10	7.0
Irati	3.00	d	89.63	296	137	109	1.07	8.2
Irati	6.00	a	85.55	346	127	100	1.08	7.8
Irati	6.00	b	90.47	342	127	97	1.09	9.0
Irati	6.00	c	90.88	315	116	97	1.07	5.5
Irati	6.00	d	64.38	308	126	100	1.04	8.3

ANEXO 12: VALORES OBTIDOS DE NITROGÊNIO, COBRE, ZINCO E MANGANÊS E FERRO NA PLANTA, REALIZADO PELO LABORATÓRIO DE NUTRIÇÃO MINERAL DE PLANTAS DO SETOR DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS DA UFPR.

Material	Dosagem	Rep.	S total	N	Cu	Zn	Mn	Fe
			µg/g	%	µg/g	
Comercial	0.00	a	686	1.01	9	16	170	38
Comercial	0.00	b	634	1.06	8	16	171	38
Comercial	0.00	c	686	1.24	9	15	140	63
Comercial	0.00	d	686	1.09	10	18	148	50
Comercial	0.75	a	660	0.94	11	15	90	44
Comercial	0.75	b	686	0.90	10	16	90	38
Comercial	0.75	c	686	1.07	13	18	91	50
Comercial	0.75	d	660	0.94	9	18	71	50
Comercial	1.50	a	739	1.07	13	19	66	50
Comercial	1.50	b	634	0.95	11	19	63	44
Comercial	1.50	c	739	0.98	11	18	63	50
Comercial	1.50	d	634	1.07	15	19	55	50
Comercial	3.00	a	634	0.94	14	15	35	75
Comercial	3.00	b	686	1.06	11	16	33	50
Comercial	3.00	c	634	0.94	11	16	40	50
Comercial	3.00	d	634	1.07	14	16	43	75
Comercial	6.00	a	792	0.95	14	14	21	75
Comercial	6.00	b	845	1.36	15	15	24	75
Comercial	6.00	c	776	1.18	10	13	19	63
Comercial	6.00	d	871	1.34	11	13	18	63
Irati	0.00	a	713	0.96	10	16	135	38
Irati	0.00	b	660	1.07	13	16	133	50
Irati	0.00	c	792	1.05	14	19	151	50
Irati	0.00	d	686	1.31	11	18	120	63
Irati	0.75	a	686	1.27	13	18	84	50
Irati	0.75	b	686	0.88	13	15	90	50
Irati	0.75	c	766	1.02	14	15	84	50
Irati	0.75	d	713	1.08	13	15	95	50
Irati	1.50	a	686	1.44	13	18	69	63
Irati	1.50	b	713	1.30	11	16	73	50
Irati	1.50	c	713	1.25	13	18	63	75
Irati	1.50	d	686	1.13	11	18	74	50
Irati	3.00	a	713	1.10	11	16	35	50
Irati	3.00	b	720	1.17	10	15	35	38
Irati	3.00	c	660	1.13	11	18	40	75
Irati	3.00	d	720	1.05	13	18	46	50
Irati	6.00	a	780	1.13	10	16	31	63
Irati	6.00	b	690	1.27	13	18	35	50
Irati	6.00	c	780	1.26	14	16	23	50
Irati	6.00	d	780	1.28	13	19	29	56

ANEXO 13: VALORES OBTIDOS DE RELAÇÕES N/S; Fe/Mn E Fe/Zn DA PLANTA DE MILHO QUE RECEBEU COMO TRATAMENTO DOSAGENS CRESCENTES DE CALCÁRIO COMERCIAL E CALCÁRIO IRATI.

Material	Dosagem	Rep.	Relação		
			N/S	Fe/Mn	Fe/Zn
Comercial	0.00	a	14.72	0.22	2.34
Comercial	0.00	b	16.72	0.22	2.34
Comercial	0.00	c	18.08	0.45	4.20
Comercial	0.00	d	15.89	0.34	2.86
Comercial	0.75	a	14.24	0.49	2.93
Comercial	0.75	b	13.12	0.42	2.34
Comercial	0.75	c	15.60	0.55	2.86
Comercial	0.75	d	14.24	0.70	2.86
Comercial	1.50	a	14.28	0.75	2.67
Comercial	1.50	b	14.98	0.70	2.35
Comercial	1.50	c	13.26	0.80	2.86
Comercial	1.50	d	16.88	0.91	2.67
Comercial	3.00	a	14.83	2.14	5.00
Comercial	3.00	b	15.45	1.54	3.08
Comercial	3.00	c	14.83	1.25	3.20
Comercial	3.00	d	16.88	1.76	4.62
Comercial	6.00	a	11.99	3.53	5.45
Comercial	6.00	b	16.09	3.16	5.00
Comercial	6.00	c	15.21	3.36	5.04
Comercial	6.00	d	15.38	3.47	5.04
Irati	0.00	a	13.46	0.28	2.34
Irati	0.00	b	16.21	0.38	3.08
Irati	0.00	c	13.26	0.33	2.67
Irati	0.00	d	19.10	0.53	3.60
Irati	0.75	a	18.51	0.60	2.86
Irati	0.75	b	12.83	0.56	3.33
Irati	0.75	c	13.32	0.60	3.33
Irati	0.75	d	15.15	0.53	3.33
Irati	1.50	a	20.99	0.92	3.60
Irati	1.50	b	18.23	0.69	3.20
Irati	1.50	c	17.53	1.20	4.29
Irati	1.50	d	16.47	0.68	2.86
Irati	3.00	a	15.43	1.43	3.08
Irati	3.00	b	16.25	1.09	2.53
Irati	3.00	c	17.12	1.88	4.29
Irati	3.00	d	14.58	1.08	2.86
Irati	6.00	a	14.49	2.02	3.88
Irati	6.00	b	18.41	1.43	2.86
Irati	6.00	c	16.15	2.22	3.08
Irati	6.00	d	16.41	1.91	2.89

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AMBAK, K.; BAKAR, Z.A. e TADANO, T. Effect of liming and micronutrient application on the growth and occurrence of sterility in maize and tomato plants in a Malasian deep peat soil. *Soil Sci. Plant Nutr.*, v.37, n.4, p.689-698, 1991.
- ARNON, I. **Mineral nutrition of maize**. Bern-Worblaufen, International Potash Institute, 452 p.,1974.
- ASSMANN, A.L. **Efeito da aplicação de Fe, Mn e Zn no crescimento do milho e nos teores de Fe, Mn, Zn e Cu do solo e da planta.** Curitiba, 1993. Dissertação (Mestrado em Agronomia) - Setor de Ciência Agrárias, Universidade Federal do Paraná.
- BARBER, S.A. Liming materials and practices. In: PEARSON, R.W. & ADAMS, F. **Soil acidity and liming**. Madison: Americam Society of Agronomy, 1967. p.125-160.
- _____. _____. In: PEARSON, R.W. & ADAMS, F. **Soil acidity and liming**. Madison: Americam Society of Agronomy, 1984. p.171-209.
- BATAGLIA, O.C. Micronutrientes: disponibilidade e interações. In: SIMPÓSIO: ENXOFRE E MICRONUTRIENTES NA AGRICULTURA BRASILEIRA (1986: Londrina,), *Anais....* Londrina: EMBRAPA-CNPSO / IAPAR / SBOS, . p. 121-132, 1988.
- BATAGLIA, O.C. & van RAIJ, B. Eficiência de extratores de micornutrientes na análise de solo. *R.bras.Ci.Solo*, Campinas, v.13, n.2, p.205-212, 1989.
- BORKERT, C.M. Micronutrientes na planta. In: BULL, L.T. e ROSOLEM, C.A. **Interpretação de análise química de solo e planta para fins de adubação**. Botucatu: Fundação de Estudos e Pesquisas Agrícolas e Florestais, 1989. p. 309-329.
- BORKERT, C.M.; LANTAMANN, A.F.; PALHANO, J.B. & SFREDO, G.J. Determinação química do manganês absorvível pela soja. In: SEMINÁRIO NACIONAL DE PESQUISA DE SOJA, (1984: Campinas). *Anais...* Londrina: EMBRAPA/CNPSO, 1984. p.879-87.
- BÜLL, L.T. & CANTARELLA, H. **Cultura do milho: fatores que afetam a produtividade**. Piracicaba, POTAFOS, 301 p., 1993.
- CAMARGO, O.A.; VALADARES, J.M.A.S. & DECHEN, A.R. Efeitos do pH e da incubação na extração manganês, zinco, cobre e ferro do solo. *R.bras.Ci.Solo*, Campinas, v.6, n.2, p.83-88, 1982.
- CHATER, M. e WILLIAMS, R.J.B. The chemical composition of British agricultural liming materials. *J. Agric. Sci., Cambridge*, v.82, n.2, p.193-205, 1974.

- CHICHILO, P e WHITTAKER, C.W. Trace elements in agricultural limestones of the United States. *Agron. Journal*, Madison, v.53, n.3, p.139-144, 1961.
- CLARKSON, D.T. & HANSON, J.B. The mineral nutrition of higher plants. *Annu. Rev.Plant. Physiol.*, Palo Alto, v.31, n.--, p.239-298, 1980.
- COMISSÃO DE FERTILIDADE DO SOLO, Rio Grande do Sul. **Recomendações de adubação e calcagem para os Estados do Rio Grande do Sul e Santa Catarina**. 2ª ed. Passo Fundo, SBSC, Núcleo Regional Sul, 128 p., 1989.
- COUTO, C.; NOVAIS, R.F.; TEIXEIRA, J.L.; BARROS, N.F. e NEVES, J.C.L. Níveis críticos de zinco no solo e na planta para o crescimento de milho em amostras de solos com diferentes valores do fator capacidade. *R. bras. Ci. Solo*, Campinas, v.16, n.1, p.79-87, 1992.
- COUTO, W.; LATHWELL, D.J. e BOULDIN, D.R. Sulfate sorption by two oxisols and an alfisol of the tropics. *Soil Sci.*, Baltimore, v.127, n.1, p.108-116, 1979.
- COX, F.R. e KAMPRATH, E.J. Pruebas de micronutrientes en suelos. In: MORTVEDT, J.J.; GIORDANO, P.M. e LINDASY, W.L. **Micronutrientes en Agricultura**, 1. ed. México: AGT, 1983. p.317-348.
- DA CRUZ, M.C.P. & FERREIRA, M.E. Seleção de métodos para avaliação do cobre disponível nos solos. *Pesq. agropec. bras.*, Brasília, v.25, n.4, p.647-659, 1990.
- DATTA, M.; GUPTA, R.K. e PRASAD, R.N. Response of wheat and maize to lime in acid soils of Nagaland. *J. Indian Soc. Soil Sci.*, Nova Deli, v.31, n.2, p.236-40, 1983.
- DIJKSHOORN, W. & VAN WIJK, S.L. The sulphur requirements of plants as evidenced by the sulphur-nitrogen ratio in the organic matter - review of published data. *Plant and Soil*, The Hague, v.26, p.129-157, 1967.
- DO NASCIMENTO, J.A.L. & MORELLI, M. Enxofre em solos do Rio Grande do Sul. I-Formas no solo. *R.bras.Ci.Solo*, Campinas, v.4, n.3, p.131-135, 1980.
- DOS ANJOS, A. **Estudo da formação Irati - São Mateus do Sul, PR,- como corretivo da acidez do solo**. Curitiba, 1991. Dissertação, (Mestrado em Agronomia) - Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná.
- EL-KHERBAWY, M.I. & SANDERS, R. Effects of pH and phosphate status of a silty clay loam on manganese, zinc and copper concentrations in soil fractions and in clover. *J. Sci. Food Agric.*, Oxford, v.35, n.7, p.733-739, 1984.
- ELKINS, D.M. e ENSMINGER, L.E. Effect of soil pH on the availability of adsorbed sulfate. *Soil Sci. Amer. Proc.*, Madison, v. 35 n. 6, p. 931-934, 1971.

- EMBRAPA. Serv. Nac. Lev. Conserv. Solos. **Levantamento de reconhecimento dos solos do Estado do Paraná**. Londrina: SUDESUL / EMBRAPA / IAPAR, 1984. 2v. 791 p. (Boletim Técnico, n.57).
- ENSMINGER, L.E. & FRENEY, J.R. Diagnostic techniques for determining sulfur deficiencies in crops and soils. *Soil Science*, Baltimore, v.101, n.4, p.283-290, 1966.
- ERNST, F.F. & STIVERS, R.K. Portland cement for liming a strongly acid soil. *Agronomy Journal*, Madison, v.74, n.2, p.451-453, 1982.
- FASSBENDER, H.W. **Química de suelos, con énfasis en suelos de América Latina**. San José, IICA, 422 p., 1982.
- FERREIRA, M.E. & DA CRUZ, M.C.P. Cobre. In: SIMPÓSIO SOBRE MICRONUTRIENTES NA AGRICULTURA. (1988: Jaboticabal). *Anais...* Piracicaba: Potafos/CNPq, 1991. p.131-157.
- FIBGE - FUNDAÇÃO INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Censo Agropecuário - Paraná 1985**, Rio de Janeiro, 1985.
- FORESTIERI, E.F. & DE-POLLI, H. Calagem, enxofre e micronutrientes no crescimento do milho e da mucuna-preta num podzólico vermelho-amarelo. *R. bras. Ci. Solo*, Campinas, v.14, n.--, p.167-172, 1990.
- FORNO, D.A.; YOSHIDA, S. & ASHER, C.J. Zinc deficiency in rice. I. Soil factors associated with the deficiency. *Plant Soil*, Oxford, v.42, n.3, p.537-550, 1975.
- FOX, R.L.; OLSON, R.A. & RHOADES, H.F. Evaluating the sulfur status of soils by plant and soil tests. *Soil Science Society Proceedings*, Madison, v.28, n.2, p.243-246, 1964.
- GAINES, T.P. & PHATAK, S.C. Sulfur fertilization effects on the constancy of the protein N:S ratio in low and high sulfur accumulation crops. *Agronomy Journal*, Madison, v.74, n.3, p.415-418, 1982.
- GALLO, J.R.; HIROCE, R.; BATAGLIA, O.C. e MORAES, F.R.P. Levantamento dos cafezais do Estado De São Paulo pela análise química foliar. *Bragantia*, Piracicaba, v.29, n.2, p.237-248, 1970.
- GALRÃO, E.Z. & MESQUITA FILHO, M.V. Efeito de fontes de zinco na produção de matéria seca de milho em solo sob o cerrado. *R. Bras. de Ci. Solo*, Campinas, v.5, n.3, p.167-170, 1981.
- GUPTA, R.K. & SINGH, R.D. Studies on the antagonistic effects of lime on iron and aluminium. *J. Indian. Soc. Soil Sci.*, Nova Delhi, v.38, n.1, p.130-134, 1990.

- HANWAY, J.J. Corn growth and composition in relation to soil fertility: III. Percentages of N, P and K in different plant parts in relation to stage of growth. *Agronomy Journal*, Madison, V.54, n.3, p.222-229, 1962.
- HILDEBRAND, C. **Manual de análise química de solos e plantas**. Curitiba: UFPR, 1977. (mimeografado).
- HINGSTON, F.J.; POSNER, A.M. e QUIRK, J.P. Anion adsorption by goethite and gibbsite. I Role of the proton in determining adsorption envelopes. *Journal of Soil Science*, Oxford, v. 23, n.2, p. 177-192, 1972.
- HODGSON, J.F.; LINDSAY, W.L. e TRIERWEILER, J.F. Micronutrient cation complexing in soil solution. II. Complexing of zinc and copper in displaced solution from calcareous soils. *Soil Sci. Soc. Amer. Proc.*, Madison, v.30, n.06, p.723-726, 1966.
- JAHIRUDDIN, M.; CHAMBERS, B.J.; LIVESEY, N.T. e CRESSER, M.S. Effect of liming on extractable Zn, Cu, Fe e Mn in selected Scottish soils. *Journal of Soil Science*, Oxford, v.37, n.4, p.603-615, 1986.
- JARIEL, D.M.; WALLACE, S.U.; JONES, U.S. e SAMONTE, H.P. Growth and nutrient composition of maize genotypes in acid nutrient solutions. *Agronomy Journal*, Madison, v.83, n.3, p.612-617, 1991.
- JONES JR., J.B. Análises de los tejidos de las plantas para micronutrientes. In: MORTVERDT, J.J.; GIORDANO, P.M. E LINDSAY, W.L. **Micronutrientes en Agricultura**. 1. ed. México: AGT, p.349-372, 1983.
- JONES JR., J.B. & ECK, H.V. Plant analysis as an aid in fertilizing corn and grain sorghum. In: WALSH, L.M. & BEATON, J.D. (eds). **Soil testing and plant analysis**, 2. edition. Soil Sci. Soc. Am., Madison, p. 349-364, 1973.
- KAMPRATH, E.J. & FOY, C.D. Lime-fertilizer-plant interactions in acid soils. In: OLSON, R.A.; ARMY, T.J.; HANWAY, J.J.; KILMER, V.J. **Fertilizer technology and use**. Madison, Soil Science Society of America, 1971. p. 105-51.
- KAMPRATH, E.J.; NELSON, W.L. e FITTS, J.W. The effect of pH, sulfate and phosphate concentrations on the adsorption of sulfate by soils. *Soil Science Society Proceedings*, Madison, v. 20, n.4, p.463-466, 1956.
- KLIEMANN, H.J. **Contribuição ao estudo da disponibilidade de enxofre em solos brasileiros**. Piracicaba, 1987. Tese (Doutorado em Agronomia) - ESALQ-USP.
- KORENTAJER, L.; BYRNES, H. e HELLUMS, D.T. The effect of liming and leaching on the sulfur-supplying capacity of soils. *Soil Sci. Am. J.*, Madison, v.47, n.3, p.525-530, 1983.

- LIM, K.L. & SHEN, T.C. Lime and P applications and their residual effects on corn yields. **Agronomy Journal**, v.70, p.927-932, 1978.
- LIN, W. Inhibition of anion transport in root protoplasts. **Plant Physiol**, Baltimore, v.68, n.2, p.435-438, 1981.
- LINDSAY, W.L. Zinc in soils and plant nutrition. **Adv. Agro.**, Nova York, n.24, p.147-186, 1972.
- LINDSAY, W.L. & NORVELL, W.A. Development of DTPA soil test for zinc, iron, manganese and copper. **Soil Sci. Soc. Am. J.**, Madison, v.42, n.3, p.421-428, 1978.
- LINS, I.D.G. & COX, F.R. Efeito do pH do solo e teor de argila sobre a disponibilidade de zinco para o milho. Campo Grande, **EMPAER** (Boletim de pesquisa n.6), 40p., 1989.
- LOPES, A.S. Solos sob "cerrado". **Características, propriedades e manejo**. Piracicaba: Associação Brasileira para Pesquisa sa Potassa e do Fosfato, 162 p., 1984a.
- LOPES, A.S. Uso eficiente de fertilizantes com micronutrientes. In: SIMPÓSIO SOBRE FERTILIZANTES NA AGRICULTURA BRASILEIRA (1984: Brasília). **Anais...** Brasília: EMBRAPA, 1984b. p. 347-382,.
- LOPES, A.S. & DE CARVALHO, J.G. Micronutrientes: Critérios de diagnose para solo e planta, correção de deficiências e excessos. In: SIMPÓSIO: ENXOFRE E MICRONUTRIENTES NA AGRICULTURA BRASILEIRA (1986: Londrina). **Anais...** Londrina: EMBRAPA-CNPSO / IAPAR / IAPAR / SBSCS, p. 1988. p. 133-178,
- LUTZ, J.A.; GENTER Jr., C.F. e HAWKINS, G.W. Effect of soil pH on element concentration and uptake by maize: II. Cu, B, Zn, Mn, Mo, Al e Fe. **Agronomy Journal**, Madison, v.64, n.5, p.583-585, 1972.
- MAKAYA, A.S. Effect of liming and phosphate on yield of maize and wheat in acid alfisol. **Indian J. Agron.** Nova Deli, v.33, n.3, P.279-282, 1988
- MALAVOLTA, E. **Manual de química agrícola; nutrição de plantas e fertilidade do solo**. São Paulo: Agronômica Ceres, 1976. 528 p.
- MALAVOLTA, E. **Elementos de nutrição mineral de plantas** São Paulo: Agronômica Ceres, 251p. 1980.
- MALAVOLTA, E. **Manual de química agrícola: Adubos e adubações**. 3 ed., Editora Agronômica Ceres Ltda, São Paulo, 596 p. 1981.
- MARSCHNER, H. **Mineral nutrition of higher plants**. Academic Press, London, 674 p., 1986.

- MARSH, B.H. & GROVE, J.H. Plant and soil composition as affected by an alternative lime source containing sulfate. **Soil Sci. Soc. Am. J.**, Madison, v.56, n.6, p.1831-1836, 1992.
- MARTINI, J.A. & MUTTERS, R.G. Effect of liming and fertilization on sulfur availability, mobility, and uptake in cultivated soils of South Carolina. **Soil Science**, Baltimore, v.138, n.6, p.403-410, 1984.
- MARTINI, J.A. & MUTTERS, R.G. Effects of lime rates on nutrient availability, mobility and uptake during the soybean growing season: II Calcium, magnesium, potassium, iron, copper and zinc. **Soil Science**, Baltimore, v.139, n.4, p.333-343, 1985.
- MELSTED, S.W.; MOTTO, H.L. & PECK, T.R. Critical plant nutrient composition values useful in interpreting plant analysis data. **Agronomy Journal**, Madison, v.61, n.1, p.17-21, 1969.
- MENGEL, K & KIRKBY, E.A. **Principles of plant nutrition** Bern: Intern. Potash Institute, Switzerland, 687 p, 1987.
- MIRANDA, L.N. Utilização de calcários marinhos como corretivos de acidez do solo. **R. bras. Ci. Solo**, Campinas, v.9, n.3, p.245-248, 1985.
- MURAOKA, T; NEPTUNE, A.M.L. & NASCIMENTO FILHO, V.F. Avaliação da disponibilidade de zinco e de manganês do solo para o feijoeiro. II. Manganês. **R.bras.Ci.Solo**, Campinas, v.7, n.2, p.177-182, 1983.
- NAMBIAR, K.K.M. & MONTIRAMANI, D.P. Tissue Fe/Zn ratio as a diagnostic tool for prediction of Zn deficiency in crop plants. I. Critical Fe/Zn ratio in maize plants. **Plant and Soil**, The Hague, v.60, n.3, p.357-367, 1981.
- NEPTUNE, A.M.L.; TABATABAI, M.A. e HANWAY, J.J. Sulfur fractions and Carbon-Nitrogen-Phosphorus-Sulfur relationships in some Brazilian and Iowa soils. **Soil Sci. Soc. Amer. Proc.**, Madison, v.39, n.1, p.51-55, 1975.
- NUWAMANYA, J.K. The effect of lime levels on the growth of beans and maize and nodulation of beans on three tropical acid soils. **Commun. in Soil Sci. Plant Anal.** Nova York, v.15, n.9, p.1017-1027, 1984.
- OHKI, K.; WILSON, D.O. & ANDERSON, O.E. Manganese deficiency and toxicity sensitivities of soybean cultivar. **Agronomy Journal**, Madison, v.72, n.5, p.713-716, 1980.
- OLIVEIRA, E.L.; MUZILLI, O.; GERAGE, A.C. e CATANEO, A. Tolerância de cultivares de milho à acidez do solo e eficiência da resposta à calagem. **Pesq.agropec. bras.**, Brasília, v.18, n.9, p.1045-1051, 1983.
- OLSEN, S.R. Interacciones de los micronutrientes. In: MORTVEDT, J.J.; GIORDANO, P.M. & LINDSAY, W.L. **Micronutrientes en agricultura**. México: AGT, p 267-290, 1983.

- PALASKAR, M.S. & GHOSH, A.B. An appraisal of some soil test procedures for diagnosing sulphur availability to Maize (*Zea Mays L.*) grown on Alluvial soils. **Fertiliser News**, v. 30, n.3, p.25-30, 1985.
- PAYNE, G.G.; SUMMER, M.E. & PLANK, C.O. Yield and composition of soybeans as influenced by soil pH, phosphorus, zinc and cooper. **Commun. Soil Sci. Plant Anal.**, v.17, n.03, p.257-273, 1986
- PEPPER, I.L.; BEZDICEK, D.F.; BAKER, A.S. & SIMS, J.M. Silage corn uptake of sludge applied zinc and cadmium as affected by soil pH. **J. Environ. Qual.**, Madison, v.12, n.02, p. 270-275, 1983.
- PRASAD, R.N.; RAM, P.; BAROOAH, R.C. e RAN, M. Direct and residual effect of liming on yield of maize and uptake of nutrients in acid soils of Meghalaya. **J. Indian Soc. Soil Sci.**, Nova Deli, v.31, n.2, p.233-35, 1983.
- PUMPHREY, F.W.; KOELHER, F.E.; ALLMARAS, R.R. & ROBERTS, S. Method and rate of applying zinc sulfate for corn on zinc deficient soil in Western Nebraska. **Agronomy Journal**, Madison, v.55, n.3, p.235-238, 1963.
- QUAGGIO, J.A.; VAN RAIJ, B. e MALAVOLTA, E. Alternative use of the SMP-buffer solution to determine lime requirement of soils. **Communications in Soil Science and Plant Analysis**, New York, v.16, n.--, p.245-260, 1985a.
- QUAGGIO, J.A.; SAKAI, M.; ISHIMURA, I.; SAES, L.A. & BATAGLIA, O.C. Calagem para a rotação feijão-milho verde em solo orgânico do Vale do Rio Ribeira de Iguape (SP). **R. bras. Ci. Solo**, Campinas, v.09, n.03, p.255-261, 1985b.
- RYTCHEY, D.K.; COX, F.R.; GALRÃO, E.Z. & YOST, R.S. Disponibilidade de zinco para culturas do milho. **Pesq. Agrop. Bras.**, Brasília, v.21, n.3, p.215-225, 1986.
- SÁNCHEZ, P.A. **Suelos del Trópico: características y manejo**. San José, IICA, 660 p., 1981.
- SANEST - Sistema de análise estatística para microcomputadores. Zonta, E.P & Machado, A. A. Pelotas-RS.
- SEAB - SECRETARIA ESTADUAL DE AGRICULTURA E ABASTECIMENTO - Departamento de Economia Rural. **Consumo aparente e demanda potencial de calcário no Paraná**. Curitiba, 1987 a.
- SEAB - SECRETARIA ESTADUAL DE AGRICULTURA E ABASTECIMENTO - Departamento de Economia Rural. **Program de calcário no Paraná: Sub-programa de crédito para mini e pequenos produtores**. Curitiba, 1987 b.

- SMITH, C.B. Sweet corn growth responses and leaf concentrations as affected by lime types and fertilizer treatments in a five-year study. *J. Amer. Soc. Hort. Sci. Alexandria*, v.104, n.4, p.572-577, 1984.
- STATGRAPHICS. Statistical graphics system. v.6.0. Statistical Graphics Corporation, 1987.
- STEWART, B.A. & PORTER, L.K. Nitrogen-sulfur relationships in wheat (*Triticum aestivum* L.), corn (*Zea mays*), and beans (*Phaseolus vulgaris*). *Agronomy Journal*, Madison, v.61, n.2, p.267-271, 1969.
- TABATABAI, M.A. & BREMNER, J.M. Distribution of total and available sulfur in selected soils and soil profiles. *Agronomy Journal*, Madison, v.64, n.1, p.40-44, 1972.
- TEDESCO, M.J.; VOLKWEISS, S.J e BOHNEN, H. **Análises de solo, plantas e outros materiais.** Boletim Técnico n.5, UFRGS, Porto Alegre, 1985.
- TESSARO, L.C.; PREVEDELLO, B.M.S. e ASSMANN, T.S. Efeito do calcário Iratti no pH e no teor de alumínio de dois solos da região sudeste do estado do Paraná. **Resumos do 24. Congresso Brasileiro de Ciência do Solo.** Goiânia, v.3, p.229-230, 1993.
- THIND, S.S.; TAKKAR, P.N. e BANSAL, R.L. Chemical pools of zinc and the critical deficiency level for predicting response of corn to zinc application in alluvium derived alkaline soils. *Acta Agronomica Hungarica*, Budapeste, v.34, n.3, p.219-226, 1990.
- THOMPSON, J.W. Effects of fertilizers and soil amendments on the mineral constituents of maize. *Soil Science*, Baltimore. v.94, n.5, p. 323-330, 1962.
- TISDALE, S.L.; NELSON, W.L. e BEATON, J.D. **Soil fertility and fertilizers.** New York, Macmillan Publishing Company, 1985. 754 p.
- TRANI, P.E.; HIROCE, R. e BATAGLIA, O.C. **Análise foliar: Amostragem e interpretação,** Campinas, Fundação Cargil, 18 p., 1983.
- TREHAN, S.P. & SEKHON, G.S. Effect of clay, organic matter and CaCO_3 content of zinc adsorption by soils. *Plant Soil*, The Hague, V.46, p.329-336, 1977.
- VALADARES, J.M.A.S.; BATAGLIA, O.C. e FURLANI, P.R. Estudo de materiais calcários usados como corretivo do solo no Estado de São Paulo. III - Determinação de Mo, Co, Cu, Zn,, Mn e Fe. *Bragantia*, Campinas, v.33, n.15, p.147-152, 1974.
- VAN RAIJ, B. ; CAMARGO, A.P.; CANTARELLA, H e SILVA, N.M. Alumínio trocável e saturação de bases como critérios para recomendação de calagem. *Bragantia*, Campinas, v.42, p.149-156, 1983.
- VETTORI, L. Método de análise de solo. **Boletim Técnico. Equipe de Pedologia e Fertilidade do Solo.** Rio de Janeiro, n.07, p.1-24, 1969.

- VILLARROEL, J.A.; NÚÑEZ, E.R., CAJUSTE, L.J. e AGUIRRE, D.M. Respuesta del maiz y frijol a la aplicacion de gallinaza, estiercol vacuno, zinc, manganeso y hierro en suelos de ciudad serdan, puebla, bajo condiciones de campo e invernadero. **Agrociencia**, Chapingo, n.44, p.77-90, 1981.
- VITTI, G.C. **Avaliação e interpretação do enxofre no solo e na planta**. Jaboticabal, FUNEP, 37 p., 1988.
- WATANABE, F.S.; LINDSAY, W.L. e OLSEN, S.R. Nutrient balance involving phosphorus, iron and zinc. **Soil Sci. Soc. Am. Proc.**, Madison, v.29, n.5, p.562-565, 1965.
- WILLIAMS, C.H. Some factors affecting the mineralization of organic sulfur in soils. **Plant Soil**, The Hague, v. 26, p.205-223, 1967.
- WOLFFENBÜTTEL, R & TEDESCO, M.J. Disponibilidade do enxofre para a alfafa em oito solos do Rio Grande do Sul e sua relação com parâmetros de solo. **Agronomia Sulriograndense**, Porto Alegre, v.17, n.2, p.357-376, 1981.
- YORK Jr, E.T.; BRADFIELD, R. e PEECH, M. Influence of lime and potassium on yield and cation composition of plants. **Soil Science**, Baltimore, V.77, p.53-63, 1954.